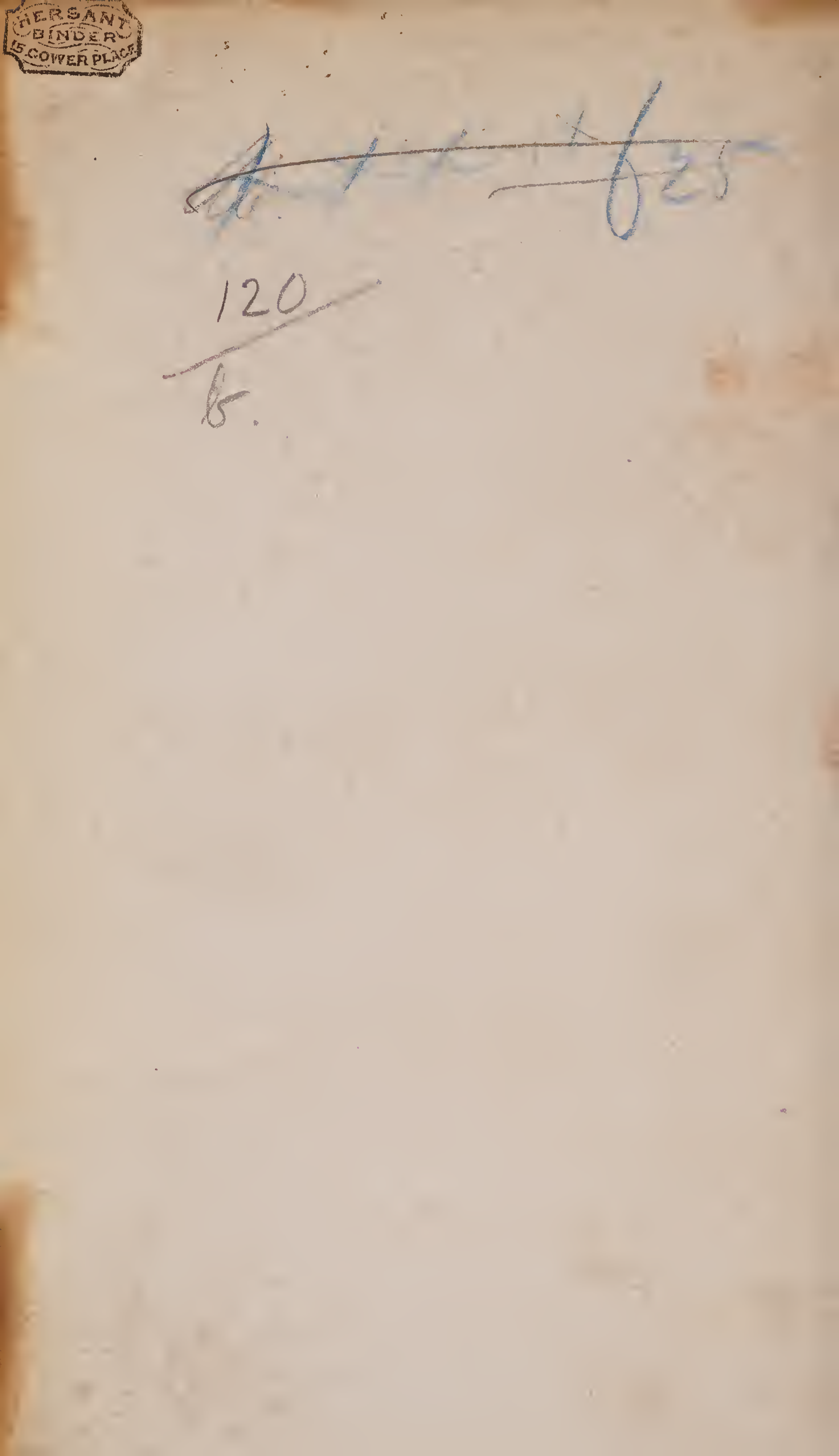

S
487


HERSANT
BINDER
15 GOWER PLACE
120
6.

ANNUAIRE
SCIENTIFIQUE

NEUVIÈME ANNÉE

1870

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

LES PROGRÈS DES SCIENCES EN 1869

ANNUAIRE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉ PAR

P.-P. DEHÉRAIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES, LAURÉAT DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE CHIMIE A L'ÉCOLE SPÉCIALE D'ARCHITECTURE, AU COLLÉGE CHAPTAL
ET A L'ÉCOLE D'AGRICULTURE DE GRIGNON, MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE;

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

H. BLERZY, inspecteur des lignes télégraphiques ;
Dr P. BROUARDEL, professeur à l'École de médecine, médecin des hôpitaux ;
Dr E. DALLY ;
Dr C.-M. GARIEL, professeur agrégé à l'École de médecine ;
Ed. LANDRIN, professeur au collége Chaptal ;
P. LELONG ; **MARGOLLÉ**, ancien officier de marine ;
E. MERIJOT, ingénieur des manufactures de l'État ; **G. RAYET**, astronome à l'Observatoire de Paris ;
A. SANSON, rédacteur en chef de *la Culture ;*
E. VIGNES, professeur au collége Chaptal ;
Dr J. WORMS, médecin de l'hôpital de Rothschild ;
ZURCHER, ancien officier de marine.

NEUVIÈME ANNÉE

1870

PARIS

VICTOR MASSON ET FILS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

AVERTISSEMENT

Le percement de l'isthme de Suez, l'achèvement du canal qui unit la Méditerranée à la mer Rouge, l'Europe à l'extrême Orient, donnera à l'année qui finit une juste célébrité; bien que l'art de l'ingénieur n'ait pas rencontré dans ce travail de difficultés d'un ordre très-élevé, la France aura toujours le droit de s'enorgueillir de l'habileté et de la persévérance avec laquelle cette entreprise a été menée à bonne fin ; ce grand succès ne pouvait nous laisser indifférent, et M. H. Blerzy qui, dès l'an dernier, s'était joint à nous, a écrit pour ce volume une notice, dans laquelle il nous fait assister aux péripéties de la la grande œuvre à laquelle M. de Lesseps a attaché son nom.

Les connaissances que l'éclipse de 1868 nous avait permis d'acquérir sur le soleil, se sont complétées cette année, et M. Rayet résumant les travaux de MM. Faye, Janssen,

Lockyer, Secchi, Sonrel et les siens propres, nous a tracé de la constitution physique du soleil, une théorie qui s'appuyant sur les découvertes récentes, n'en négligeant aucune, réussit cependant à satisfaire les esprits les plus difficiles.

M. Gariel, qui vient d'ajouter cette année à son titre d'ingénieur des ponts et chaussées celui de professeur agrégé à l'École de médecine, a résumé pour l'Annuaire les ingénieuses expériences qui ont permis à M. Tyndall d'aborder la question difficile de la coloration bleue du ciel; plus loin, M. Gariel, rappelant les travaux de MM. Bert et Mascart, montre que, si chez l'homme, la rétine est très-différemment impressionnée par les divers rayons du spectre, tellement que quelques personnes peuvent voir des rayons ultra-violets invisibles pour d'autres, il est remarquable cependant que des animaux très-inférieurs reçoivent des impressions analogues à celles qui nous frappent et qu'ils soient plus vivement attirés par les couleurs, qui nous paraissent à nous-mêmes les plus éclatantes.

La terrible explosion de la place de la Sorbonne, les travaux accumulés par MM. Nobel et Abel sur les poudres, ont vivement préoccupé l'opinion publique; et il eût été de notre devoir de consacrer une notice détaillée aux matières détonantes, quand même ce travail n'eût eu pour but que de satisfaire la curiosité du lecteur ; mais les travaux de MM. Berthelot, H. Saint-Claire Deville et Hautefeuille,

sur les dégagements de chaleur qui accompagnent la décomposition de certains corps, sont venus donner, au contraire, à l'étude des corps explosifs, un intérêt théorique du premier ordre. Les expériences de MM. Cailletet et Berthelot, relatives aux perturbations qu'amènent des pressions énergiques dans les réactions chimiques, ont été ensuite résumées par notre collaborateur, M. Ed. Landrin.

La translation de l'Observatoire astronomique qui a si vivement occupée l'Académie, la création de l'observatoire de Montsouris où s'accumulent tant de renseignements propres à hâter les progrès de la météorologie, sont étudiés dans des articles spéciaux; il est clair que c'est seulement en enregistrant avec grand soin les perturbations qui surviennent dans les vents, les pressions barométriques, les températures, qu'on pourra arriver à connaître, avec quelques certitudes, les mouvements qui se propagent dans l'océan aérien, mais il reste dans les renseignements qu'enregistre et que publie si régulièrement l'observatoire de Montsouris une lacune à combler : il serait à désirer et ce vœu est difficile à réaliser, nous ne l'ignorons pas, qu'on pût noter l'intensité lumineuse, comme on chiffre l'intensité calorifique ; en effet, les travaux que nous avons exécutés cette année et qui sont résumés à l'article *maturation des céréales*, ont démontré que l'une des fonctions les plus importantes de la vie végétale, l'évaporation de l'eau par les feuilles,

s'accomplit sous l'influence des rayons lumineux et non sous celle des rayons calorifiques, et comme, d'après nous, les migrations des principes immédiats qui précèdent la maturation des plantes herbacées sont déterminées par cette évaporation, on conçoit que la maturation soit plutôt déterminée par l'éclat de la lumière que par l'intensité de la chaleur et qu'il y ait dès lors à la mesure de cette lumière, un intérêt égal sinon supérieur à celui que présente l'enregistrement des températures.

Au travail de physique végétal auquel nous venons de faire allusion, notre collaborateur, M. Vignes, a joint un important article de géographie botanique et, plus loin, une notice remplie d'intérêt sur la chaleur des invertébrés, montrant que les grandes idées d'équivalence et de transformation des forces se vérifient dans tous les détails où on les poursuit; l'Académie au reste, a reconnu, dans ces derniers jours, l'importance de ces admirables découvertes, et elle a nommé, parmi ses correspondants, M. Mayer, d'Helbronn, et M. Helmholtz, d'Heidelberg, qui ont eu l'honneur, l'un de découvrir, l'autre d'étendre et de propager la théorie mécanique de la chaleur.

Depuis 1866, l'Annuaire avait laissé de côté la question de l'antiquité de l'homme, il y revient aujourd'hui et c'est M. le docteur Dally, bien connu de tous les amis de l'anthropologie, qui s'est chargé du soin de résumer les faits importants qui établissent l'existence de l'homme à des époques très-reculées; jusqu'à l'année dernière, les preuves de son

apparition à l'époque quaternaire nous avaient paru insuffisantes, mais depuis il a fallu nous rendre, et la découverte d'un de nos jeunes élèves du collége Chaptal, M. Bertrand, qui a trouvé à Clichy, dans un terrain quaternaire non remanié, des débris humains à côté d'ossements d'éléphants et d'autres grands mammifères éteints ou réfugiés dans les régions tropicales, n'a pas peu contribué à nous faire changer d'avis.

A son article sur le canal de Suez, M. Blerzy a joint dans la partie du volume consacrée aux sciences appliquées, une notice sur la distribution des eaux dans les grandes villes ; enfin M. Gariel et M. Merijot ont complété le chapitre de l'art de l'ingénieur en décrivant le nouveau broyeur Carr, et la disposition adoptée actuellement dans les locomotives pour renverser la vapeur et s'en servir comme d'un frein puissant.

Les progrès accomplis par M. Bessemer dans la métallurgie par l'emploi des hautes températures, le meilleur outillage des laboratoires ont encore fourni à M. Merijot, ingénieur des manufactures de l'État, des notices remplies d'intérêt et d'autant plus précieuses qu'elles donnent sur ces questions des résultats encore très-peu connus en France. La discussion sur la coralline qui a eu lieu à l'Académie, a été résumé par notre élève et ami M. Ed. Landrin.

Les travaux de M. Davaine sur les bactéries ont été étudiés par M. le docteur Worms, et la longue et impor-

tante discussion sur la mortalité des nouveau-nés par M. le docteur Brouardel qui, après de brillants concours, a conquis, cette année même, les titres enviés de professeur agrégé à l'École de médecine et de médecin des hôpitaux. Nous faisons les vœux les plus ardents pour que ce remarquable travail, tout vibrant d'une généreuse indignation, aille au cœur du lecteur et qu'il provoque une agitation salutaire, destinée à mettre un terme à ce « massacre des innocents » par l'incurie et la cupidité.

Nous avons demandé à M. Sanson, que ses connaissances étendues en zootechnie et dans l'art vétérinaire désignaient pour ce travail, de présenter au lecteur, une question dont nous voulions l'entretenir depuis longtemps, celle du typhus contagieux des bêtes bovines; enfin M. Margollé finit le volume par une notice intéressante sur les pêches maritimes.

Une notice nécrologique a été consacrée à sir David Brewster, une autre à Th. Graham dont les travaux sur l'occlusion des gaz et la nature métallique de l'hydrogène, ont eu, dans ces derniers temps, tant de retentissement.

Ainsi que nous le prévoyions l'année dernière, la longue et stérile discussion sur les faux autographes qui s'est poursuivie pendant deux années devant l'Académie des sciences a fini devant la police correctionnelle, et nous n'avons pas cru devoir y revenir; on ne saurait méconnaître le rare talent qu'a déployé dans cette discussion M. Le Verrier, mais si on doit lui savoir gré d'avoir vengé

Newton des attaques qu'on avait admises contre lui avec tant de crédulité, il ne convient pas de ranimer un débat pénible qu'un peu de fermeté et de prévoyance eût permis d'éviter.

Quelques notices bibliographiques complètent ce volume, dans lequel nous n'avons pas, plus que dans les précédents, l'intention de présenter un tableau complet du mouvement scientifique pendant l'année qui vient de s'écouler ; toutefois, et malgré les critiques que nous adresse un écrivain distingué, nous continuons à croire qu'il vaut mieux choisir un certain nombre de questions importantes et les traiter assez complétement pour en faire comprendre l'intérêt au lecteur, que de consacrer quelques alinéas à chacune des communications qu'enregistrent les sociétés savantes ; faire un choix est difficile, mais nous espérons cependant que les personnes qui voudront parcourir avec quelque attention les neuf volumes déjà publiés, reconnaîtront qu'à l'exception de quelques questions qui ont été réservées parce qu'elles nous paraissaient incomplétement élucidées, il n'est guère de points importants que nous ayons négligés.

P.-P. D.

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

I

CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL.

Au mois de novembre dernier, lorsque nous rédigions le compte rendu des observations faites pendant l'éclipse totale de soleil du 18 août 1868, les astronomes se trouvaient, depuis quelques jours seulement, en possession de documents nouveaux sur la constitution de cet astre. Les théories anciennes de Wilson, de Bunsen et Kirchhoff étaient très-ébranlées, et nous n'osions encore élever au rang d'une hypothèse les idées plus récemment émises par M. Faye, en France ; par MM. Lévy, Dawes, Warren de la Rue, Stoney, en Angleterre. Depuis cette époque, les faits constatés par les spectateurs de l'éclipse ont été contrôlés à loisir ; s'appuyant sur de nouvelles observations, les esprits, devenus plus calmes, ont cherché à grouper dans une hypothèse plausible l'ensemble des connaissances aujourd'hui définitivement acquises à la science. Certes, les astronomes ne sont pas arrivés à créer pour la constitution du soleil une théorie à l'abri de toute objection, mais l'hypothèse nouvelle est plus satisfaisante que les anciennes; elle relie entre eux un plus grand nombre de faits, et par conséquent doit avoir sur ses aînées l'avantage d'être plus voisine de la vérité.

Avant d'indiquer quelle idée les astronomes se font aujourd'hui du noyau central du soleil, de son atmosphère et de ses taches, nous devons indiquer ce qui nous a été appris depuis l'an dernier par l'observation spectroscopique des diverses régions solaires.

I

Spectre de l'atmosphère solaire.

MM. Janssen et Lockyer ont pu, le premier en août et le second en octobre dernier, voir sur les bords du soleil les deux ou trois principales lignes brillantes du spectre des protubérances. Depuis lors, les instruments ayant été perfectionnés, les méthodes d'observations étant devenues plus précises, le nombre des lignes brillantes que les astronomes savent voir dans le spectre de l'atmosphère solaire s'est élevé jusqu'à huit ou neuf.

A l'origine, MM. Janssen et Lockyer avaient constaté la présence des lignes brillantes C et F, et d'une ligne jaune voisine de la double ligne DD′ de la soude et plus réfrangible que cette dernière; une mesure très-précise de la position de cette ligne m'a montré que sa distance à la plus réfrangible des lignes D était égale à deux fois et demie la distance de ces deux raies. (*Comptes rendus de l'Académie*, 8 février 1869.) Dans le spectre solaire elle se place à la division 1016,8 du dessin de Kirchhoff.

Dans les premiers jours de janvier, au moment où je recommençais à Paris les études sur l'atmosphère solaire, je fus assez heureux pour retrouver dans la lumière de ses bords deux autres lignes brillantes qui se placent : la première entre F et G, à la division 2579,5 de Kirchhoff; la seconde un peu en avant du groupe G, à la division 2796,1 de la même échelle. (*Comptes rendus de l'Académie*, 4 janvier 1869). Enfin, dans les jours où le ciel était très-pur, et surtout exempt d'humidité, j'ai su apercevoir dans le spectre de cette même atmosphère solaire une ligne lumineuse encore plus réfrangible que les précédentes, située en dehors des limites du dessin classique de Kirchhoff, et qui est le renversement de la ligne *h*. (*Comptes rendus de l'Académie*, 7 juin 1869.)

Parmi ces six raies, quatre, la raie C, la raie F, la ligne voisine

de G, et enfin la ligne *h*, peuvent être reproduites artificiellement, en faisant passer l'étincelle d'induction dans de l'hydrogène convenablement raréfié. Il est donc certain, comme l'avait annoncé M. Janssen dans ses premières communications, que l'hydrogène forme une partie considérable de la masse gazeuse des protubérances. Mais ce n'est point le seul corps qui entre dans leur composition chimique, car, jusqu'à ce jour, il a été impossible de trouver dans la lumière de l'hydrogène pur et incandescent des lignes qui, par leurs refrangibilités, correspondent à la raie brillante voisine de D, et à la raie intermédiaire entre les lignes F et G de Fraunhofer.

D'ailleurs, si j'avais été assez heureux pour retrouver dans le spectre de l'atmosphère solaire six lignes brillantes, le R. P. Secchi, profitant du beau ciel de Rome et d'une circonstance exceptionnelle a été plus heureux encore. Le 20 mai, cet astronome a pu voir trois lignes brillantes dans la région du vert.

« Ces lignes se manifestèrent au-dessus d'une facule qui se trouvait sur le bord solaire, et faisait partie d'un groupe de taches qui avait déjà commencé à disparaître derrière le bord solaire... Le spectroscope ayant été dirigé sur cette facule, on y vit briller une énorme protubérance, dont la hauteur était d'au moins 2 minutes. » Le R. P. Secchi, après avoir décrit la forme contournée de la protubérance, et signalé l'éclat très-vif des lignes C, D et F, continue ainsi : « D'abord l'espace lumineux entre les deux raies du magnésium 1649,0 et 1656,5 de Kirchhoff était très-brillant, et cette vive lumière faisait un contraste frappant avec les deux raies noires qui l'interceptaient. Par contre, la troisième raie du magnésium 1634,0 devenait très-brillante, en se renversant sur une hauteur de 20 secondes environ. La manière différente de se comporter des trois raies du magnésium m'ayant paru tout à fait exceptionnelle, je cherchais à m'assurer contre toute illusion par tous les moyens possibles ; mais le fait est certain, je n'ai jamais cessé de le voir pendant plus de trois heures. » (*Comptes rendus de l'Académie*, 31 mai 1869.)

Outre ces deux raies brillantes de la région du magnésium, le R. P. Secchi en vit encore apparaître trois autres, la première dans le voisinage de la ligne E, les deux autres entre les lignes *b* et F.

En analysant, avec des instruments très-puissants et dans des

circonstances spécialement favorables, la lumière des protubérances, on peut donc distinguer dans le spectre de cette région solaire jusqu'à onze lignes brillantes[1]; quatre de ces lignes appartiennent à l'hydrogène, et les autres semblent, pour la plupart, provenir de gaz à nous inconnus, ou de vapeur placées dans des conditions de température et de pression non encore reproduites artificiellement.

Ces diverses lignes brillantes ne se voient pas avec la même facilité; les raies de la région verte ne s'obtiennent que dans des conditions toutes spéciales, la raie rouge, la raie jaune, la raie bleue sont, au contraire, presque toujours visibles, un spectroscope bien puissant n'est pas nécessaire pour les apercevoir; les appareils à vision directe et à cinq prismes présentent une dispersion suffisante; il est plus difficile de se procurer une image nette du soleil, ayant un diamètre d'au moins 4 centimètres. Si on dispose d'une lentille capable de donner ce résultat, il n'y aura plus qu'à placer la fente du spectroscope dans le plan focal de cette image, et à déplacer l'ensemble de l'appareil jusqu'à amener le bord du soleil à tomber dans la fente. On verra alors le spectre solaire se sillonner de deux à trois lignes brillantes.

On peut, d'ailleurs, donner à la fente deux positions différentes: elle peut être tangente au bord solaire, et les lignes brillantes apparaissent alors fort longues, traversant quelquefois tout le champ. Elle peut être perpendiculaire aux bords de l'image solaire, et alors on voit à la limite de séparation du spectre donné par la lumière diffuse, et de celui qui est formé par les rayons directs du soleil, de petites lignes brillantes dont la longueur correspond exactement à la hauteur de la couche solaire capable de les produire; les raies seront donc très-longues, si la fente se trouve sur l'image d'une haute protubérance, et très-courte dans le cas contraire. Il faut noter que, pour une même position perpendiculaire de la fente, les trois lignes rouge, jaune et bleue ont rarement la même hauteur. La raie rouge est presque toujours

[1] Suivant M. Lockyer (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 12 juillet, 1869), le spectre de l'atmosphère solaire comprendrait plus de vingt lignes brillantes parmi lesquelles les trois raies du magnésium, plusieurs raies du fer, les raies du calcium..... Malgré tous mes efforts, je n'ai pu réussir à voir un aussi grand nombre de lignes brillantes.

plus longue que les deux autres; c'est aussi la plus facile à voir, elle se distingue même avec un ciel brumeux.

Le meilleur procédé pour étudier l'atmosphère solaire est, d'ailleurs, celui qui consiste à rendre la fente tangente aux bords de l'image solaire; c'est par ce moyen que l'on peut constater l'aspect différent des diverses raies La ligne rouge paraît presque toujours comme un long trait de feu d'une largeur à peu près égale; cependant on constate parfois sur sa longueur des régions plus brillantes que l'irradiation fait paraître plus large. La ligne jaune a beaucoup de ressemblance avec un trait de tire-ligne; sa largeur est très-constante. La raie F, au contraire, a presque toujours la physionomie d'une sorte de chapelet; elle s'élargit par endroits, se rétrécit dans d'autres, et semble formée d'une série de fuseaux mis bout à bout. Cette variation d'éclat est, du reste, un caractère commun à toutes les raies très-réfrangibles; on le retrouve dans les lignes violettes.

II

Continuité de l'atmosphère solaire hydrogénée.

Les lignes brillantes de l'atmosphère solaire sont visibles sur un point quelconque du pourtour du disque de cet astre. Ce résultat important a été obtenu par tous les astronomes, dès qu'ils ont mis en pratique les procédés de MM. Janssen et Lockyer, et c'est à ce dernier astronome (*Comptes rendus* du 9 novembre 1869) que revient, je crois, la priorité de la publication de ce fait riche en conséquences. Il résulte, en effet, de cette observation que la matière protubérantielle existe sur tout le pourtour du soleil, et y forme une atmosphère continue, et que les protubérances ne sont qu'une accumulation et une surélévation de ces gaz.

Il y a, d'ailleurs, de longues années que les astronomes savent que, lors des éclipses totales de soleil, on voit tout autour de cet astre une couche continue d'une matière rosée, assez semblable aux protubérances par son aspect et sa couleur. Cette enveloppe, aperçue par tous les anciens observateurs qui ne se servaient pas de verres rouges, se trouve parfaitement décrite par M. Le Verrier,

dans son rapport sur l'éclipse de 1860. En parlant du bord lunaire, derrière lequel le soleil allait réapparaître, le directeur de l'Observatoire s'exprime ainsi : « Ce bord du disque, que j'avais trouvé deux minutes auparavant parfaitement blanc, était maintenant teinté par un léger filet d'une épaisseur inappréciable, et d'un rouge pourpre. Or, à mesure que les secondes s'écoulaient, ce filet grandissait peu à peu, et formait bientôt autour du disque noir de la lune, sur une étendue de 30 degrés environ, une bordure rouge d'une épaisseur parfaitement définie et croissante, et dont le contour était irrégulier à la partie supérieure. » Plus loin, parlant des protubérances, M. Le Verrier écrit : « Il paraît certain aujourd'hui que ces protubérances émanent accidentellement d'une couche de matière qui recouvre toute la surface du soleil, sur une hauteur de 8 à 10 secondes, égale à la deux-centième partie de l'astre. »

Nous étions donc dès 1860 bien près de la théorie qui prévaut aujourd'hui ; mais les observations actuelles, après avoir fourni une preuve directe et palpable de l'existence de cette atmosphère, nous apprennent, ce qu'on ne savait point alors, que cette couche entièrement composée de matières gazeuses incandescentes, renferme beaucoup d'hydrogène, et qu'elle est dans tous les cas identique, par sa composition chimique à la matière des protubérances.

L'existence de cette couche étant bien prouvée, il a fallu lui donner un nom. M. Lockyer a adopté celui de chromosphère; le nom général d'atmosphère solaire se trouvant réservé pour les autres enveloppes gazeuses du soleil.

III

Observation de l'image des protubérances.

Après avoir constaté que les lignes spectrales des protubérances étaient visibles en dehors des éclipses, M. Janssen eut immédiatement l'idée d'appliquer la mesure de leurs grandeurs à l'étude de la forme des protubérances. Le procédé qu'il imagina consistait à faire mouvoir la fente du spectroscope perpendiculairement au bord solaire, et à mesurer pour chacune de ses positions la lon-

gueur de la raie brillante C; cela revenait à faire dans le profil de l'atmosphère solaire une série de coupes verticales ; en reportant sur le papier les résultats de cette exploration méthodique, on devait évidemment obtenir une représentation assez exacte de la silhouette des protubérances. M. Janssen a, en effet, pu, en opérant ainsi, dessiner, mais seulement d'une manière approchée, la forme de quelques protubérances.

Le défaut de rigueur de cette méthode provient de ce que les lignes brillantes se terminant toujours par un trait très-léger, dont la fin n'est pas facile à saisir, il règne nécessairement une grande incertitude sur leur longueur.

M. Janssen avait, d'ailleurs, pensé que, si on arrivait à imprimer au spectroscope un mouvement de rotation assez rapide autour du centre du soleil, pour que la fente fît un tour complet dans un temps inférieur à la durée de la persistance d'une image lumineuse dans l'œil, on superposerait sur la rétine la série des images rouges des diverses coupes de l'atmosphère solaire, et qu'on aurait ainsi une vue générale de l'ensemble des protubérances. Cette méthode semblait devoir réussir, car M. Zœllner, justement célèbre par ses recherches de photométrie céleste, pensait que l'éclat dans le champ du spectroscope de deux lumières superposées, l'une monochromatique, l'autre complexe, devait être régi par les principes suivants:

1° L'éclat apparent d'une raie lumineuse de la source monochromatique est indépendant de la largeur de la fente, pourvu que cette dernière occupe toujours sur la rétine une amplitude perceptible; il s'affaiblit si la fente est en mouvement.

2° L'éclat du spectre de la source à lumière complexe croît, au contraire, en raison de la largeur de la fente, et est indépendant de son état de repos ou de mouvement.

Or, on sait que, dans le cas où la fente du spectroscope astronomique est perpendiculaire aux bords du soleil, l'atmosphère hydrogénée se trahit dans le spectre par une petite ligne rouge, plus brillante que le fond du champ produit par la lumière diffuse. Cette différence d'éclat devant se maintenir en mettant la fente en mouvement, on pouvait espérer que, par le procédé de M. Janssen, ou plus simplement, en fixant la fente sur un ressort vibrant rapidement, on arriverait à la vision d'une image rouge de la protubérance.

Mais les principes de M. Zœllner ayant été soumis par lui-même à une vérification expérimentale, dans laquelle on comparait l'éclat de la raie de la soude produit par une lampe à alcool salé, à l'éclat du spectre donné par une lampe à pétrole, le savant professeur de Berlin reconnut, qu'en dépit du second principe, pour voir parfaitement la flamme de l'alcool salé, il valait mieux renoncer à tout mouvement de la fente, et se borner à ouvrir celle-ci de manière à comprendre l'image entière de la flamme. Cette ingénieuse observation l'a conduit au procédé suivant, extrêmement simple. Pour voir à tout instant les protubérances solaires dans leurs contours les plus délicats, on prend une lunette équatoriale donnant une petite image du soleil ; là où se forme cette image, on place la fente d'un spectroscope *très-dispersif*. Pour voir les protubérances, il suffit d'ouvrir un peu la fente ; aucune nécessité d'employer un verre coloré, comme l'avait imaginé Huggins.

A l'aide de cette méthode extrêmement simple, M. Zœllner a dessiné et reproduit dans une fort belle planche l'aspect des diverses protubérances, qui se sont succédées sur le soleil dans les quatre derniers jours de juin[1].

En comparant les dessins d'une même région solaire faits à quelques heures de distance, on constate d'abord que rien n'est plus changeant que la forme d'une même protubérance ; ce qui répond bien à l'idée que nous pouvons nous faire des changements d'aspect d'une flamme ou d'une masse gazeuse, qui, violemment lancée vers le haut, retombe ensuite de côté et d'autre, ramenée vers le soleil par sa propre pesanteur.

Le profil des protubérances est aussi des plus variés. Les unes ont l'aspect d'une corne, et on croit même y reconnaître un enroulement en hélice; beaucoup ressemblent à des chaînes de montagnes, mais les parties surplombantes sont nombreuses ; d'autres, enfin, présentent la silhouette d'un vaste champignon avec un pédoncule extrêmement léger et un vaste chapeau rond, ou aplati suivant les cas. Quelquefois, mais plus rarement, la protubérance à la forme d'un V renversé, reposant sur le limbe du soleil par le sommet de ces deux branches.

Nous sommes donc maintenant, par suite de l'emploi du spectro-

[1] *Bulletin de l'Académie des sciences de Leipzig*, 1er juillet 1869.

scope, en possession des moyens nécessaires pour étudier d'abord la composition chimique de l'atmosphère solaire, ensuite la forme et la position des protubérances, et tout cela, sans être obligé d'attendre les trop rares occasions des éclipses totales, devenues presque inutiles aux travaux des astronomes.

IV

Les protubérances sont-elles des taches ou des facules ?

Les protubérances que la rotation du soleil amène sur la partie visible du disque de cet astre, doivent nécessairement produire l'un de ces accidents de lumière, auxquels les astronomes ont donné le nom de taches ou de facules. Les protubérances sont-elles des taches ou des facules ? Telle est la question vers laquelle se porte maintenant l'attention des savants, et on peut, dès aujourd'hui, affirmer que la solution de cette question ne sera pas sans conséquences importantes.

La première pensée a été que les protubérances correspondaient aux taches. M. Janssen, dans un télégramme daté de Simla, le 12 janvier 1869, annonçait qu'il avait découvert une dépendance entre les taches et les protubérances ; d'un autre côté, le R. P. Secchi, dans une communication insérée aux *Comptes rendus* du 1er février 1869, faisait remarquer que, si on place la fente d'un spectroscope dans le voisinage d'une tache, la raie noire C disparaît, et même se renverse en devenant brillante. Au-dessus des taches, il y a donc une couche d'hydrogène incandescent assez puissante pour que son rayonnement propre compense, et même quelquefois excède le pouvoir absorbant des couches photosphériques situées au-dessous d'elle, et dans lesquelles se produit l'absorption qui détermine la formation des raies noires de Fraunhofer. L'observation du R. P. Secchi ne prouve point, d'ailleurs, que cette masse d'hydrogène qui, sous le nom de nuages roses, surplombe parfois les taches, s'élève au-dessus du niveau général de la chromosphère, et soit, par suite, les véritables protubérances.

Si on ne peut prouver d'une manière certaine que les protubérances dépendent et correspondent aux taches, bien des faits font

penser qu'il n'y a entre les deux phénomènes aucune relation directe. La principale de ces raisons est que, dans les éclipses, on a constaté la présence de protubérances sur toutes les parties du soleil, aux pôles aussi bien qu'à l'équateur, et les taches sont, on le sait, toujours confinées dans une zone qui ne s'étend pas à plus de 25 ou 30 degrés de cette ligne. D'un autre côté, les résultats de l'étude spectroscopique des taches s'accordent mal avec cette idée, que ces régions sont surélevées au-dessus du niveau général de la photosphère, et correspondent aux protubérances.

V

Les taches du soleil.

Les taches se distinguent nettement, du reste, de la surface du soleil par leur lumière moins grande, et par une plus basse température. On y remarque vers le centre une région très-obscure, l'ombre, et sur la circonférence un espace, à clarté intermédiaire entre celle de l'ombre pure et celle de la partie voisine du soleil, qui a reçu le nom de pénombre.

Les modifications subies par la lumière solaire, qui provient de l'intérieur des taches, s'étudient d'une manière très-nette à l'aide du spectroscope. En amenant l'image d'une de ces taches sur la fente de l'appareil, on peut réunir dans le champ de la lunette les spectres produits par la lumière des parties brillantes du soleil, et par celle des parties relativement obscures, qui portent le nom de taches. Rien de plus facile alors que de comparer ces deux spectres superposés l'un à l'autre, et de noter les différences qu'ils peuvent présenter. L'examen de ses diverses modifications a été pour le R. P. Secchi l'occasion d'un travail important et fécond en conséquences.

Le spectre de la lumière des taches se distingue de celui de la lumière ordinaire par un assombrissement marqué des lignes de Fraunhofer ; mais ce n'est point une augmentation générale de l'importance des lignes noires. Tandis que certaines d'entre elles n'éprouvent dans leur largeur ou leur intensité aucune modification appréciable, il y en a, au contraire, qui s'assombrissent beaucoup et deviennent nébuleuses sur leurs bords. Parmi celles

pour lesquelles ce phénomène est le plus sensible, il faut citer la double ligne de la soude, les lignes jaunes du fer, les lignes vertes du chrome... Toutes ces raies sont très-faibles dans la lumière ordinaire du soleil, et leur renforcement dans le spectre du noyau des taches, donne à ce dernier une physionomie spéciale. La série des couleurs de l'arc-en-ciel semble coupée par une suite de bandes formées de lignes fines, et le spectre rappelle de loin le spectre des rayons de la flamme d'une lampe, sur le trajet desquels on a interposé un gaz coloré, acide hypoazotique, iode ou chlore.

Sans qu'il soit nécessaire de faire une étude bien attentive de la lumière des taches, on peut conclure du renforcement de certaines raies que les rayons émis par cette région du soleil ont subi une absorption plus grande que ceux qui nous arrivent des points voisins, et cette absorption plus grande doit tenir à ce que, au-dessus du fond des taches, la couche gazeuse absorbante a une épaisseur plus grande que partout ailleurs.

Il faut, d'ailleurs, remarquer que, si, dans le spectre de la lumière des taches, on voit les lignes noires plus facilement qu'ailleurs, on n'aperçoit cependant aucune ligne nouvelle.

Les physiciens qui ont étudié le dessin de Kirchhoff, ou les planches d'Angstroem, savent que les raies de Fraunhofer sont très-inégalement réparties entre les diverses parties du spectre; dans certaines régions, c'est un fouilli inextricable de lignes qui se touchent, dans d'autres points il y a de larges espaces, privés de toute ligne d'absorption. Dans le cas de la lumière du noyau des taches, le renforcement des lignes noires fait paraître ces parties beaucoup plus lumineuses, et, dans le cas où elles n'ont pas une largeur exagérée, on arrive facilement à prendre ces régions dont la lumière n'est pas éteinte pour de véritables lignes lumineuses. C'est probablement par une erreur de ce genre que M. Lockyer a compté dans le spectre des taches une cinquantaine de lignes lumineuses.

On peut cependant, mais seulement dans des cas bien rares, observer dans le spectre des taches un véritable renversement. Cela est arrivé une fois pour la raie C de l'hydrogène au R. P. Secchi.

L'étude prismatique de la lumière du noyau des taches, n'apprend donc qu'une seule chose. Au-dessus du fond des taches, l'at-

mosphère non lumineuse et absorbante du soleil a une profondeur plus grande que partout ailleurs. La question de savoir si cet accroissement d'épaisseur tient à une surélévation des gaz ou à la formation d'une cavité dans la photosphère lumineuse reste, d'ailleurs, indécise, et sa solution doit être cherchée dans l'analyse attentive d'autres phénomènes.

La pénombre d'une tache se montre, lorsqu'on l'examine avec un grossissement suffisant, parsemée d'une multitude de filaments lumineux qui, prenant naissance aux bords de la pénombre, se prolongent jusqu'au noyau central. Chacun de ces filaments est l'assemblage de particules solides ou liquides empruntées à la photosphère, et qui ne sont pas encore assez refroidies pour être devenues obscures. Ces portions de matière solide flottent dans l'atmosphère solaire comme les nuages dans l'air, et, dans leurs mouvements, elles suivent le déplacement des couches de gaz. On peut les comparer aux bouées dont la marche sert de mesure à la vitesse, et à la direction d'un courant d'eau.

Or, le sens de la courbure de ces filaments a montré à M. Sonrel (*Comptes rendus* du 23 août 1869) que, dans une tache en voie de formation, les gaz de la région centrale tourbillonnent, en s'abaissant vers le centre du soleil ; au-dessus d'une tache, l'atmosphère ne s'élève donc pas plus haut que le niveau général des régions voisines, et l'accroissement de profondeur de la couche absorbante se produit nécessairement aux dépens de la photosphère lumineuse, dont la clarté est pour un moment éteinte.

Quant au mécanisme de cette extinction, il est probablement le suivant : les gaz qu'une cause quelconque a transportés dans les régions élevées de l'atmosphère solaire, ne contiennent plus aucune vapeur ; ils sont secs. En s'abaissant, ils se compriment, et par conséquent s'échauffent ; leur haute température, et surtout leur siccité les rendent donc capables de vaporiser une partie des globules liquides, dont l'ensemble forme la photosphère ; cette dernière se creuse alors, et la couche absorbante, devenant par cela même plus épaisse, l'absorption lumineuse augmente et par suite la quantité de lumière émise par cette région diminue. La théorie rend ainsi un compte suffisant de l'obscurité relative et de la profondeur des taches. Cette profondeur des taches ne mesure point d'ailleurs l'épaisseur de la photosphère, car tout prouve qu'au fond des taches il y a, en général au moins, une couche offrant la

composition de la couche lumineuse du soleil, des particules solides ou liquides en suspension dans un gaz. Dans l'hypothèse où au-dessus du noyau, il y aurait une colonne de matière entièrement gazeuse, le spectre de la lumière de ce noyau devrait présenter une série de lignes brillantes sur fond obscur, et les observations du R. P. Secchi prouvent qu'il n'en est point ainsi.

L'abaissement de la colonne gazeuse qui surmonte les taches est de toute nécessité accompagnée par le tourbillonnement de cette masse, et le sens de cette rotation doit être différent, suivant que la tache se trouve dans l'hémisphère boréal, ou dans l'hémisphère austral du soleil. L'observation attentive d'une tache, ou plutôt d'un groupe, montre, en effet, que, pendant la période de leur existence, elles subissent des rotations et des déformations dont, suivant M. Sonrel, la nature et les particularités sont en harmonie avec notre hypothèse.

VI

Constitution physique du soleil.

Après avoir exposé, avec détails, les résultats des observations spectroscopiques faites sur la lumière des diverses portions du soleil, il nous reste à aborder la partie hypothétique de notre sujet. Nous devons à nos lecteurs de montrer, à l'aide de quelles hypothèses simples et admissibles, on peut relier entre elles les connaissances positives dont l'analyse précède. Pour atteindre ce but, nous ferons de nombreux emprunts, d'une part, aux idées que M. Faye exprimait il y a deux ans devant l'Académie des sciences, de l'autre, à un remarquable mémoire de M. Stoney, publié dès 1867 dans les *Proceedings* de la Société royale de Londres.

La densité moyenne du soleil surpasse peu celle de l'eau, ce qui rend difficilement admissible l'hypothèse, qui fait de la partie centrale de cet astre une masse solide ou même liquide. Un corps dont la composition chimique générale est voisine de celle de notre globe, dans lequel il y a, à n'en pas douter, du sodium, du fer, du calcium, du baryum, du cuivre... devrait, s'il était solide ou liquide, avoir une densité peu différente de celle de la terre, c'est-

à-dire de 5 ou 6 environ. Ce résultat est trop loin de la réalité pour être un seul instant admissible.

D'un autre côté, la quantité de lumière et de chaleur émise par le soleil est si considérable, qu'on ne peut guère en rendre compte qu'en admettant que la surface de cet astre est à une température extrêmement élevée. Or, dans tout corps qui se refroidit par rayonnement, la masse interne est à une température plus haute que les portions voisines de la surface ; le centre du soleil encore plus chaud que sa surface doit donc être à une température capable de réduire en vapeurs les substances les plus réfractaires.

Nous arrivons donc à concevoir le soleil comme une masse gazeuse, portée à une température très-élevée, probablement capable de dissocier toutes les combinaisons chimiques. Cette hypothèse, au moins plausible, présente sur toutes celles que l'on peut faire le double avantage de donner une raison de la faible densité du soleil, les vapeurs étant toujours plus légères que les liquides, et de permettre une explication facile du refroidissement excessivement lent de cet astre qui, depuis bien des siècles déjà, rayonne vers les espaces célestes une si grande quantité de chaleur. Avec un noyau solide ou liquide, la chaleur émise doit provenir presque en entier de la surface, et cette dernière se refroidit alors très-rapidement. Si, au contraire, on part de l'idée d'une masse totalement gazeuse, le moindre refroidissement engendrera au point où il se sera produit une condensation et une augmentation de densité, dont la première conséquence sera de ramener vers le centre de la masse la partie refroidie. Grâce aux courants ainsi établis, la masse totale sera incessamment remuée et mélangée, et son refroidissement sera égal dans toutes les parties. Le soleil, dont le volume est environ 1,400,000 fois celui de la terre, est donc tout entier mis à contribution pour fournir la chaleur nécessaire au rayonnement de sa surface, et vu la grandeur de sa masse, il a pu nous échauffer, et sans doute nous échauffera pendant bien des siècles encore.

Mais, poursuivons plus loin l'hypothèse de la masse solaire entièrement gazeuse à son centre, et voyons quelles doivent être les conséquences nécessaires des courants ascendants et descendants qui ne peuvent manquer de s'établir dans son intérieur, et dont nous avons constaté l'existence dans la région des taches. Au cen-

tre du soleil tous les corps sont réduits en vapeur, et peut-être dissociés, mais, à mesure que les gaz s'élèvent vers la surface, ils se trouvent moins comprimés, leur volume augmente, et ils se refroidissent par suite de cette augmentation même de volume, et aussi parce que le rayonnement devient plus actif. Rien ne s'oppose plus alors à la formation de combinaisons chimiques impossibles tout à l'heure, et certaines de ces combinaisons doivent être accompagnées d'un dégagement de lumière. D'un autre côté, le refroidissement augmentant toujours, les corps les plus réfractaires vont se condenser; dans notre masse gazeuse qui monte toujours, il y aura bientôt des nuages formés par des globules métalliques de platine, de fer, de calcium... Ces globules maintenus à une haute température rayonneront des quantités considérables de chaleur. La couche où existent ces nuages se trouve donc dans des conditions analogues à celles d'une flamme chargée de particules solides; elle doit former autour du soleil une photosphère lumineuse. La lumière de cette photosphère ayant pour origine le rayonnement de corps solides ou liquides ne doit point être polarisée, et l'on sait, en effet, depuis Arago que c'est le cas de la lumière directe du soleil.

Ces nuages, ou du moins ces amas de globules métalliques, doivent avoir des compositions et des structures très-différentes. Les nuages les plus bas seront formés de substances très-réfractaires, les plus élevés de corps plus facilement fusibles, et puis, pour les uns, le refroidissement aura amené la formation de parties solides, tandis que, pour d'autres, il n'y aura encore que des globules liquides. A ces différences de nature physique ou de composition chimique, doivent répondre des pouvoirs rayonnants très-inégaux, et une surface formée du chaos de tous ces nuages présentera des régions très-lumineuses à côté de régions plus ternes. La photosphère sera parsemée de facules.

Aussitôt formés, les nuages retombent nécessairement vers le centre du soleil, en sorte que la photosphère est le siége de neiges ou de pluies métalliques qui, réchauffées à mesure qu'elles descendent, se réduisent de nouveau en vapeurs, et la série des transformations déjà décrites recommence aussitôt.

Si nous connaissions les températures de dissociation des divers composés chimiques, et aussi les températures auxquelles leurs vapeurs se condensent, on pourrait aisément former un tableau

de l'ordre dans lequel les corps se succèdent, en remontant du centre du soleil à sa surface; ce travail a été ébauché par M. Stoney, mais il suffit à notre but de concevoir qu'il est possible. Admettons, par exemple, qu'il existe dans le soleil du platine et du fer, le nuage de platine se formera dans une région où le fer peut encore exister à l'état de vapeur, en sorte que la lumière émise par le platine liquide, lumière qui donnerait au spectroscope un spectre continu, devra, avant d'arriver à nos instruments, traverser des vapeurs de fer ; elle subira donc une absorption partielle qui, d'après des principes bien connus, doit porter sur les rayons émis par la vapeur incandescente du fer. Parvenue à la terre, cette lumière donnera donc un spectre sillonné des raies noires du fer. Il en est de même pour les autres corps dont les vapeurs doivent exister dans la photosphère.

On voit donc pourquoi le spectre solaire est traversé de nombreuses raies noires, et l'on doit penser qu'une très-notable portion de cette absorption élective s'est produite dans la photosphère elle-même; la couche gazeuse qui la domine n'intervient que pour fort peu dans le phénomène, car le spectre des bords du soleil est identique à celui du centre.

Revenons, un moment encore, à notre masse gazeuse qui s'élève lentement du centre du soleil vers sa surface. Cette masse, toujours très-chaude, dépose peu à peu toutes les vapeurs qu'elle contient, et, lorsqu'elle arrive aux limites supérieures de la photosphère, elle ne renferme plus que des gaz véritables ou des vapeurs difficiles à condenser. Dans tous les cas, cette couche qui ne renferme que des gaz, fussent-ils incandescents, ne peut être que très-peu lumineuse; visible lors des éclipses totales, elle formera alors la couche des nuages roses, les protubérances et probablement une partie de la couronne.

Parmi les gaz de cette couche, on devait s'attendre à rencontrer l'hydrogène le plus léger des gaz connus, et l'on sait, en effet, que cet élément constitue la plus grande partie de la masse des protubérances. Quant à la cause qui soulève l'hydrogène incandescent assez haut pour former les protubérances, il faut probablement la chercher dans les réactions chimiques de toute nature dont la photosphère est le siége.

L'atmosphère obscure du soleil, celle dans laquelle se forment les protubérances participe, dans son ensemble, au mouvement

de rotation de cet astre ; elle est donc plus épaisse à l'équateur qu'aux pôles. C'est, d'ailleurs, à travers cette atmosphère que se produit le refrodissement de la photosphère, et la perte de chaleur doit être d'autant plus grande que la couche protectrice est plus faible, par conséquent la photosphère polaire doit être plus froide que la photosphère équatoriale ; les mesures calorimètriques du R. P. Secchi ont, en effet, montré qu'il y avait sur le soleil deux pôles de froid voisins des pôles de rotation.

Le rayonnement de chaleur solaire se faisant à travers l'atmosphère obscure, celle-ci aura une température en rapport avec la quantité de chaleur qui la traverse, c'est-à-dire qu'elle devra être plus chaude aux pôles qu'à l'équateur. Par suite de cette inégalité de température, un courant inférieur s'établira le long de la photosphère de l'équateur vers les pôles, et, dans la portion élevée de l'atmosphère obscure, on rencontrera un courant dirigé des pôles vers l'équateur. Cette circulation est exactement l'inverse de celle qui se produit sur notre terre. En tenant compte du mouvement de rotation du soleil, les deux courants précédemment définis donneront lieu, dans l'hémisphère boréal, à un vent inférieur du sud-est et à un vent supérieur du nord-ouest. Les courants de sud-est partis de l'équateur, et animés d'une vitesse horizontale, bientôt supérieure à celle du parallèle auquel ils sont arrivés tendent à s'élever ; les courants polaires, par une raison analogue, tendent au contraire à s'abaisser vers la surface. Il y aura donc une certaine latitude à laquelle ces deux courants s'entre-croiseront, et ce frottement doit donner naissance à des tourbillonnements, des cyclones, qui devront se former dans une région constante. Ces cyclones seront, d'ailleurs, accompagnés d'un mouvement descendant de gaz, et nous savons que l'abaissement d'une colonne gazeuse, prise dans les régions élevées de l'atmosphère, suffit à expliquer l'obscurité relative des taches.

Cette dernière série de remarques que nous avons empruntées à M. Stoney, expliquent pourquoi les taches se forment dans une région limitée du soleil, et pourquoi elles sont animées d'un mouvement propre de rotation et de translation.

L'hypothèse du soleil formé d'une masse gazeuse à son centre, nuageuse à une certaine hauteur, et de nouveau gazeuse à sa partie extérieure rend facilement compte du plus grand nombre des phénomènes connus des astronomes ; elle se recommande donc

par un grand degré de vraisemblance, et nous devons l'accueillir comme la plus exacte qu'il soit possible de formuler aujourd'hui.

G. Rayet.

II

L'OBSERVATOIRE IMPÉRIAL DE PARIS.

Les travaux d'un observatoire astronomique sont rarement l'occasion de beaucoup de bruit; les journaux et leurs lecteurs sont en général indifférents à la découverte de petites planètes ou de comètes télescopiques qui, au nombre de cinq ou six par année, viennent enrichir le catalogue des astres errants. Pour que le public s'émeuve ou se passionne, pour qu'il veuille bien tourner ses yeux vers un observatoire et s'inquiète pendant quelques jours de ce qui se voit, se dit ou se pense dans ces sanctuaires de la science pure, il faut une découverte importante, une bruyante querelle scientifique ou des dissensions intestines. C'est sans doute par ces derniers motifs que les difficultés survenues à l'observatoire impérial de Paris ont eu dans ces deux dernières années un si grand retentissement. Les polémiques soulevées dans les journaux politiques de 1867 et 1868 avaient, on s'en souvient, deux objets : la situation administrative de l'Observatoire; son transfert éventuel dans les environs de Paris. Le premier point a été réglé par un décret d'avril 1868 rendu sur le rapport d'une commission nommée par M. Duruy, et composée de MM. le vice-amiral Jurien de la Gravière, Serret, Liouville, Delaunay, Balard, Le Verrier, Bellaguet. Le second a été l'objet d'une laborieuse enquête, commencée par la commission ministérielle d'octobre 1867 et continuée devant l'Académie des sciences; cette dernière, après une discussion qui n'a pas duré moins de sept mois, a enfin émis son avis. Le gouvernement a aujourd'hui dans les mains les éléments nécessaires pour arriver à la solution des difficultés soulevées, et il est temps de prendre une résolution. Suivant nous, le

transfert de l'Observatoire sur un des plateaux voisins de Paris est une chose désirable, et ne saurait être ajourné sans un préjudice notable pour l'astronomie française. C'est l'opinion qui résulte de la lecture attentive des pièces imprimées par les soins de l'Académie des sciences, c'est aussi le désir des astronomes de l'Observatoire, et on ne saurait nier que leur avis doit avoir un grand poids.

Ce n'est point, du reste, la première fois que l'idée de transférer l'Observatoire au dehors de l'enceinte de Paris s'impose à l'esprit des astronomes ; dès 1841 M. Biot, dont le nom seul est une autorité, réclamait son transport sur le mont Valérien, et en 1854 la commission ministérielle chargée d'examiner la situation matérielle et scientifique de l'établissement ne dédaignait pas, en présence des inconvénients nombreux qui lui étaient signalés, de rechercher si ce transfert était oui ou non une chose utile. A cette époque on pensa que quelques travaux faits dans le voisinage, par exemple, le macadamisage des rues d'Enfer et Saint-Jacques, rendraient la situation tolérable. Ces travaux effectués dans un bref délai, ont en effet permis à M. Le Verrier de susciter à l'Observatoire des recherches importantes, et l'activité scientifique, qui a régné dans cet établissement de 1854 à 1868, est attestée par des publications nombreuses et importantes qui jouissent à l'étranger d'une estime justement méritée.

Mais depuis quelques années l'Observatoire se trouve de nouveau menacé, par les travaux que la ville de Paris fait exécuter dans le quartier du Luxembourg et de Montrouge. Les projets de M. Haussmann placent l'établissement au centre d'un losange de becs de gaz et créent des boulevards, qui, sans aucun doute, vont se border de maisons à cinq ou six étages. Au lieu d'être entouré de jardins, l'Observatoire sera bientôt au milieu d'un quartier populeux dans des conditions bien éloignées de la tranquillité nécessaire aux travaux astronomiques.

Cette situation a depuis plusieurs années préoccupé M. le directeur de l'Observatoire et sa correspondance avec Sa Majesté l'Empereur ou Son Excellence le ministre de l'instruction publique abonde en protestations énergiques contre les projets de la ville ; néanmoins ces plans ont déjà reçu un commencement d'exécution, et rien ne garantit qu'ils ne seront pas poussés jusqu'au bout.

Nous nous proposons dans cet article de faire connaître aux

lecteurs de l'*Annuaire* les motifs nombreux qui, dans la situation actuelle, militent en faveur de la translation de l'Observatoire; nous aurons soin de nous maintenir dans le côté scientifique et impersonnel des questions.

I

Situation défavorable de l'Observatoire au milieu de Paris.

Les conditions défavorables dans lesquelles se trouve aujourd'hui placé l'Observatoire de Paris résultent de deux causes distinctes : sa situation au milieu d'un quartier très-éclairé et qui devient chaque jour plus populeux; la construction défectueuse des bâtiments et l'exiguïté des terrains mis à la disposition des astronomes.

La première de ces questions a été longuement étudiée par les commissions ministérielles et l'Académie des sciences; les documents abondent. On nous permettra de la traiter en commençant.

Les travaux à effectuer par les astronomes attachés à un grand observatoire, comme l'observatoire de France, doivent avoir pour but : 1° de fournir aux établissements secondaires, qui ne disposent que d'un matériel astronomique incomplet, les coordonnées exactes des étoiles auxquelles se rapportent ensuite la position des astres mobiles; 2° d'étudier certaines questions de haute astronomie théorique comme la parallaxe des étoiles, le mouvement de divers systèmes d'étoiles doubles ou triples; 3° de déterminer la durée des révolutions de certains satellites.

Les astronomes du siècle dernier et des premières années du nôtre ont étudié ces questions pour les étoiles d'un certain éclat, facilement visibles avec les lunettes faibles et souvent imparfaites dont ils disposaient; les observateurs d'aujourd'hui doivent aborder ces mêmes problèmes en s'attaquant aux astres très-faibles, dont la multitude couvre le ciel d'un réseau presque continu. La première condition que doit remplir un observatoire est donc de se trouver dans une situation où les plus petits astres puissent devenir visibles dans ses lunettes. L'observatoire de Paris remplit-il ces conditions? Les petites étoiles y sont-elles visibles la nuit?

Concevons, pour un instant, une lunette équatoriale dirigée vers un astre ; on obtiendra au foyer principal de son objectif une image nette de cet astre, et une sorte d'image diffuse de la région environnante du ciel ; on aura un point brillant se détachant en lumière sur un fond plus ou moins éclairé. Si l'étoile est brillante, si le champ est très-peu lumineux, elle apparaîtra facilement à l'œil, et on pourra même la montrer par projection. C'est une expérience facile à faire, aux derniers moments du crépuscule, avec les étoiles de première grandeur, Sirius, Bételgueuse, l'Épi de la Vierge, etc. Cependant dans le cas le plus ordinaire l'image de l'étoile n'aura pas un éclat suffisant pour s'enlever en lumière sur le bleu-blanchâtre du champ, et l'astre restera invisible pour l'œil ébloui par la clarté générale du ciel. Plaçons maintenant devant l'image focale de l'objectif, et entre cette image et l'œil de l'observateur un oculaire grossissant 500 fois en surface par exemple. Les images réelles qui existent au foyer se trouveront amplifiées dans ce même rapport ; celles qui occupaient un millimètre carré en occuperont maintenant 500, et la quantité de lumière répandue dans ces 500 millimètres sera précisément la même que celle qui se trouvait précédemment répartie sur un millimètre. L'image sera pour l'œil 500 fois plus grande, et en revanche 500 fois plus pâle.

Théoriquement il en est ainsi pour tous les objets, mais les étoiles sont tellement éloignées que leur image n'a dans les plus puissants instruments qu'un diamètre absolument insensible. Si agrandie qu'elle soit par l'interposition d'un oculaire, ce n'est jamais pour l'œil qu'un point presque mathématique. Cette image n'étant point grandie ne perd donc rien de son éclat. Au contraire le champ qui a une grande surface se trouve très-fortement étalé, et sa clarté est fort diminuée. En un mot, l'emploi d'un oculaire est un artifice par lequel on pâlit l'éclat du fond sans faire varier sensiblement l'éclat de l'étoile. Rien ne s'oppose alors à ce que cette dernière puisse devenir visible.

Mais ici rappelons-nous ce que l'on observe le soir en regardant le ciel à l'œil nu. Peu après le coucher du soleil, lorsque la lumière répandue dans l'air est encore très-vive, on commence à discerner un ou deux astres ; à mesure que le soleil s'enfonce sous l'horizon, que la clarté du ciel diminue, le nombre des étoiles visibles augmente rapidement, et enfin l'obscurité étant devenue

complète, on aperçoit jusqu'à celles de sixième grandeur. La même série de phénomènes s'observe dans une lunette. En plein jour, Picard l'a démontré en 1669, on peut voir des étoiles de premier grandeur, même lorsqu'elles ne sont distantes du soleil que de quelques degrés, mais il faut pour cela faire usage de très-forts grossissements. Au crépuscule on aperçoit les astres de deuxième, troisième, quatrième grandeur, etc. Par une nuit noire on distingue jusqu'à ceux de quatorzième et quinzième grandeur.

Il est donc très-important de ne laisser entrer dans la lunette que le moins possible de lumière étrangère provenant soit de la région du ciel qui entoure l'étoile, soit de toute autre source lumineuse située dans le voisinage de l'observateur. A ce dernier point de vue, rien n'est plus gênant que l'éclairage de la salle d'observation, aussi a-t-on l'habitude d'en peindre les parois en vert sombre, et pour les observations délicates l'astronome a-t-il soin de s'envelopper la tête dans un sac de taffetas noir. La clarté de la lune est aussi fort incommode, son influence se fait sentir fort loin, et dans les nuits de pleine lune on ne voit pas beaucoup plus d'étoiles que pendant la dernière partie du crépuscule.

Le reflet des lumières placées à la surface du sol doit être aussi, le raisonnement l'indique, une condition peu favorable pour l'observation des étoiles faibles.

A l'époque où l'observatoire de Paris a été construit (1667) les quartiers du Luxembourg, de Montparnasse, de Montrouge et des Gobelins étaient couverts de jardins, de vignes et de vergers. Aucun réverbère n'éclairait les chemins qui divisaient ces champs, l'Observatoire se trouvait en pleine campagne. Depuis lors, des rues ont été tracées, des maisons nombreuses construites, de nouveaux boulevards se percent chaque jour, et partout existent de nombreuses lignes de becs de gaz. Aujourd'hui l'atmosphère, au sein de laquelle sont placées les lunettes, se trouve vivement illuminée, la lueur des candélabres arrive jusqu'à l'objectif et éclaire le champ des instruments. A minuit, il règne encore autour de l'Observatoire une sorte de crépuscule dans lequel les faibles étoiles disparaissent.

Ceux qui voudront juger de l'illumination de l'atmosphère parisienne n'ont qu'à se rendre sur une des collines qui dominent la ville, ils verront alors la capitale recouverte d'une calotte de

brouillards éclairés comme par le reflet d'un incendie lointain. Cette lueur s'élève fort haut au-dessus du sol, et lorsqu'on se trouve dans son centre elle est gênante pour voir non-seulement les étoiles placées à l'horizon, mais encore celles qui sont au zénith.

En est-il de même quand on observe avec un instrument?

Suivant M. Le Verrier (séance de l'Académie du 22 février 1869), l'éclairement du ciel ne serait pas un obstacle à l'observation des astres faibles. « Pour pouvoir effectuer des observations de précision, il faut apercevoir les fils d'araignée, dont est formé le réticule de la lunette. Or, on ne les voit pas à moins d'introduire dans la lunette une certaine quantité de lumière artificielle. La lumière du ciel est insuffisante pour définir les fils, et par conséquent elle ne s'oppose pas aux observations. » M. Faye professe une opinion identique. « Quant à l'illumination du ciel, dit ce savant astronome, la seule cause générale imputable à Paris tout entier, elle n'a jamais nui aux observations méridiennes les plus délicates, puisque les astronomes éclairent bien plus vivement encore le champ de leurs lunettes méridiennes où il s'agit de mesurer et non de contempler. »

A l'appui de cette allégation, M. le directeur de l'Observatoire rapporte le résultat des observations de petites planètes faites alternativement à Greenwich de la pleine lune à la nouvelle lune, et à Paris de la nouvelle lune à la pleine lune. Quant à Paris, on observe 102 fois ces astres de 12e ou 13e grandeur, on les observe seulement 33 fois à Greenwich, et M. Le Verrier de faire remarquer que si à Paris on observe trois fois plus de petites planètes qu'à Londres, c'est que les conditions atmosphériques de l'Observatoire ne sont pas aussi mauvaises que les astronomes veulent bien le dire. Cependant il faut remarquer que la lunette de Paris a 24,4 centimètres d'ouverture et celle de Greenwich seulement 20,3 centimètres, en sorte qu'une partie de l'avantage des Français pourrait être attribuée à la plus grande puissance optique de l'instrument; d'un autre côté le nombre des jours de beau temps est certainement plus grand à Paris qu'à Londres, ce qui expliquerait d'une nouvelle façon qu'en France les petites planètes sont observées plus fréquemment qu'en Angleterre. Pour être véritablement démonstratif le relevé de M. Le Verrier devrait donc avoir été fait de manière à tenir compte du nombre de jours de temps

clair, et rien dans les publications du directeur de l'Observatoire n'indique que semblable précaution ait été prise.

Les observations dans lesquelles il s'agit de mesurer avec un micromètre la position relative de deux étoiles exigent que les fils d'araignée de ce micromètre soient visibles, ce qui peut être obtenu de deux manières : en illuminant le champ sur lequel ils se détachent alors en noir, ou bien en les éclairant par des rayons de lumière dirigés de l'oculaire vers l'objectif, et ils paraissent alors brillants sur un fond noir. Avec cette seconde disposition la seule lumière étrangère qui pénètre dans l'œil est celle qui est refléchie par les fils d'araignée ; ce sont évidemment les meilleures conditions pour que l'œil ne soit pas ébloui, et conserve toute sa sensibilité pour la vision des astres les plus faibles. Ceci ne peut évidemment avoir lieu si le champ entier de la lunette se trouve illuminé par la lumière atmosphérique.

D'ailleurs toutes les observations ne sont pas des observations de mesure, il y en a beaucoup dans lesquelles il s'agit seulement de contempler, et où le micromètre est inutile. Pour ces dernières au moins on voudra bien accorder que l'éclairement normal du champ est chose nuisible. « N'est-il pas évident, *a priori*, qu'un objet céleste quelconque, nébuleuse, étoile double, ou planète sera, quant aux détails les plus délicats, plus facile à observer sous le véritable ciel du plateau de Fontenay [1] que dans la zone lumineuse remplie des vapeurs et des fumées de Paris, et qui n'est autre que le ciel de Paris. » (M. Laugier, séance de l'Académie du 22 mars.)

Les brouillards fournis par la vapeur d'eau qui a son origine dans la combustion du gaz, les poussières soulevées par une circulation incessante, et les fumées des trop nombreuses cheminées d'un quartier populeux ont aussi un effet des plus fâcheux sur la visibilité des astres. A l'œil nu et par les temps brumeux, les étoiles brillantes et les planètes semblent entourées d'une auréole lumineuse, identique aux couronnes de la lune ; ces couronnes existent également autour des étoiles moins brillantes, et produisent une diffusion des images fort gênante pour séparer les étoiles doubles très-voisines.

[1] Dans le cours de la discussion devant l'Institut, il avait été question du transfert à Fontenay.

Si donc les astronomes de Paris pensent un jour à mesurer la distance des étoiles doubles, ils devront exclure de leurs recherches les systèmes formés d'astres très-rapprochés, c'est-à-dire les systèmes les plus intéressants à étudier.

On sait combien est ondulante et diffuse l'image d'un objet que l'on regarde par-dessus une toiture échauffée par le soleil, ou à travers le courant d'air chaud qui sort d'une cheminée en activité. Or les courants d'air et les fumées des cheminées d'usines situées à Montrouge ou plus près de l'Observatoire comme celles de la prison cellulaire du faubourg Saint-Jacques viennent par les vents d'est se placer sur le trajet des rayons de lumière qui doivent pénétrer dans les lunettes; il faut noter que cet inconvénient est spécial aux vents d'est, c'est-à-dire aux jours de beau temps. On comprend d'ailleurs facilement que les ondulations des images doivent être on ne peut plus nuisibles à la netteté de la vision et à l'étude de certains astres. Ainsi, d'après la déclaration de M. Lœwy, « des grossissements de 400 fois ne peuvent pas être dépassés dans l'étude des astres à l'Observatoire actuel, tandis que partout ailleurs on peut se servir aisément de grossissements plus considérables. Ce fait sûr et bien constaté est une preuve saisissante de l'état particulier et exceptionnel de l'atmosphère de Paris. »

On peut en effet citer nombre d'astres faibles que l'on voit à Poulkowa ou à Berlin avec des lunettes de moindres dimensions que celles de l'Observatoire impérial, et qui sont presque invisibles pour les astronomes de Paris. Ainsi, à Washington, M. Newcoomb fait chaque année de nombreuses observations du satellite de Sirius; à Paris, M. Chacornac, armé du télescope de 80 centimètres, construit des mains mêmes de Foucault, n'est parvenu à le voir que dans de rares circonstances. Suivant M. Wolf (déclarations devant l'Académie des sciences), « à Munich, où l'observatoire est bâti sur une colline et en dehors de la ville, M. Lamont a pu, avec un 9 pouces, voir et mesurer les positions de deux satellites d'Uranus; ici, avec un 12 pouces, M. Lœwy et lui n'ont pu que soupçonner la présence de ces deux satellites, bien qu'ils les aient assidûment cherchés deux années de suite. » Enfin, « ce n'est pas nous qui avons découvert le satellite de Neptune, ceux d'Uranus et la moitié de ceux de Saturne; nous ne les avons même pas vus, et nous n'en parlons que par ouï-dire. » (M. Faye, note lue à l'Académie le 25 janvier 1869.)

Il est donc bien démontré, par le raisonnement et par l'expérience, qu'au point de vue de la vision des astres très-faibles, l'observatoire de Paris se trouve dans des conditions d'infériorité marquées. Cela provient-il d'une particularité spéciale au climat de la région de Paris? Nous ne le pensons pas. Sans aucun doute, il n'y a pas dans le bassin de la Seine une atmosphère aussi transparente que celle de la Sibérie, aux jours où le thermomètre descend à 20 ou 30 degrés au-dessous de zéro, cependant les conditions météorologiques sont certainement meilleures que celles de l'Irlande, et néanmoins on ne peut avec les grands et parfaits télescopes de Foucault, voir les détails aperçus par lord Ross sous le ciel brumeux et humide de l'Irlande. La cause de l'infériorité de l'Observatoire impérial ne peut donc être cherchée que dans l'illumination du ciel de Paris ou que dans les brumes et les fumées qui sont spéciales à l'atmosphère d'une grande ville. A ce dernier point de vue, on gagnerait donc certainement beaucoup à se transporter hors de Paris, et à 100 mètres plus haut sur le plateau de Fontenay-aux-Roses.

La situation de l'Observatoire au centre d'un de nos faubourgs les plus populeux, fait aussi craindre que les observations de positions d'étoiles faites dans cet établissement ne soient entachées d'erreurs considérables, et ne puissent être prises qu'en faible considération dans la rédaction d'un catalogue général du ciel. De l'avis des astronomes compétents, et surtout de M. Y. Villarceau, ces erreurs seraient particulièrement sensibles sur les distances polaires des étoiles.

La distance polaire d'une étoile ou, ce qui s'en déduit facilement, sa distance zénithale se mesure en déterminant l'angle que fait avec la verticale, le rayon lumineux qui, passant par l'axe optique de la lunette va aboutir à l'étoile considérée. La distance zénithale observée doit toutefois être corrigée de l'erreur de réfraction, car les rayons qui pénètrent obliquement dans les couches de notre atmosphère s'infléchissent peu à peu, et se rapprochent de la normale ; les distances zénithales observées sont toujours trop faibles. La formule, à l'aide de laquelle on calcule la correction due à la réfraction atmosphérique, a été établie par La Place dans l'hypothèse de certaines conditions atmosphériques, et si ces conditions ne sont pas au moins approximativement remplies, la formule est inapplicable. La théorie de La Place suppose une décroissance ré-

gulière dans la densité et la température de l'air, et surtout elle demande que les surfaces qui séparent entre elles les couches de diverses températures ou de différentes densités soient horizontales. Pour que la formule de réfraction soit rigoureusement applicable, il faut donc que le terrain où est établi l'instrument des hauteurs soit symétrique vers le nord et vers le sud, et surtout qu'aucun courant d'air chaud ne s'élève au milieu de la masse d'air que doivent traverser les rayons lumineux.

Ces diverses conditions sont loin de se trouver réalisées à l'observatoire de Paris; car le sol du jardin situé au sud de la salle méridienne est très-notablement plus élevé que celui de la cour placée au nord, la différence est celle d'un étage, et il est impossible d'admettre que les becs de gaz du boulevard Arago ne produisent quelques-uns de ces courants d'air chaud, si funestes au point de vue du calcul de la réfraction. Si les erreurs provenant de ces causes étaient irrégulières, on les éliminerait facilement en multipliant les observations, mais il est très-probable, au contraire, que les erreurs sont toujours dans le même sens, et la moyenne d'une série de mesures est à ce point de vue aussi inexacte qu'une observation unique. D'après les travaux de M. d'Auwers, une erreur systématique de ce genre existe, en effet, dans les observations de Paris.

Pour terminer le développement déjà long des inconvénients de la situation urbaine de l'Observatoire, il nous reste à parler des difficultés de la mesure du nadir, difficultés qui ont leur origine dans les trépidations du sol ébranlé à chaque instant par le passage des voitures, rue Saint-Jacques, ou sur les boulevards voisins.

La détermination au cercle mural de la distance zénithale d'une étoile exige que l'on puisse, à chaque instant, connaître la direction de la verticale qui passe par l'axe de rotation de l'instrument; cette direction s'obtient en regardant dans un bain de mercure, dont la surface forme un miroir rigoureusement horizontal, l'image réfléchie du micromètre de la lunette. Lorsque les fils du réticule et l'image de ces mêmes fils réfléchis par le bain de mercure coïncident exactement, l'axe optique de l'instrument est rigoureusement vertical, et il suffit de noter les divisions du cercle qui se trouvent devant les microscopes. Vient-on maintenant à diriger l'instrument vers une étoile, l'angle dont il a fallu le tourner

est le supplément de sa distance zénithale apparente ; cet angle doit ensuite être corrigé de la réfraction.

L'emploi du bain de mercure est le procédé le plus sûr, le plus *classique*, que l'on puisse employer pour déterminer la verticale. Il n'est pas d'astronome qui osât user pour cet objet d'une autre méthode. Or, il résulte du témoignage unanime des astronomes que l'observation du nadir n'est pas possible à toutes les heures du jour, et dans toutes les circonstances. Pour obtenir un bain de mercure calme il faut attendre minuit ou une heure du matin, époque où le mouvement des voitures cesse dans le quartier de l'Observatoire ; mais on peut à bon droit se demander si une détermination du nadir, obtenue dans les heures avancées de la nuit, peut légitimement être employée pour réduire les observations faites dans l'après-midi, ou même pendant les premières heures de la soirée ? On sait, en effet, que le cercle mural subit chaque jour de faibles déplacements qui résultent, soit d'une dilatation inégale de ses pièces métalliques, soit surtout d'un mouvement de bascule dans le pilier qui le porte ; ce pilier, se trouvant pendant le jour plus échauffé du côté sud que du côté nord, incline légèrement vers le nord pour revenir le soir à sa position première, mais rien ne prouve que ces mouvements soient réguliers. D'un autre côté est-il certain que le cercle mural, qui dans cet intervalle de cinq ou six heures a été tourné et rétourné plusieurs fois, qui a peut-être subi des chocs, n'ait éprouvé aucun déplacement permanent? Ce sont là des questions qui ne peuvent être résolues que par une observation fréquente du nadir, et comme cette dernière n'est pas possible à toutes les heures du jour, il plane forcément un certain doute sur l'exactitude des mesures de déclinaison qui ne précèdent pas immédiatement l'observation du nadir.

Il est vrai qu'au cours de la discussion devant l'Académie, M. Le Verrier a introduit dans la construction du bain de mercure certaines modifications qui le rendent plus stable. L'ancien bain était formé d'un vaste plateau circulaire en fonte, fixé à un chariot mobile sur un petit chemin de fer. Le plateau pouvait ainsi être facilement amené sous la lunette du cercle mural disposée de manière à viser vers un des bords, région où les images sont moins tremblantes qu'au centre ; le nouveau bain est formé d'une caisse carrée en bois blanc, dont le fond est sillonné de canelures

profondes. Les rugosités d'une planche, travaillée sans soins spéciaux, gênent le mouvement du mercure et le bain devient beaucoup plus calme.

Suivant M. Le Verrier, avec cette modification fondamentale, et l'emploi de quelques écrans pour empêcher l'action directe du vent, il serait devenu possible d'obtenir des nadirs à toutes les heures et par tous les temps. Il est vraiment fâcheux que ce point important n'ait été vérifié que par quelques académiciens, et que les astronomes n'aient pas été mis à même de vérifier par eux-mêmes la réalité de l'amélioration obtenue. (Note de M. L. Serret, 1er mars 1869.)

Et puis, quand bien même le bain de mercure serait devenu stable, quand bien même il serait possible d'observer tous les jours et à toutes les heures des étoiles par réflexion, les conditions générales de l'observatoire ne se trouveraient pas notablement modifiées, une amélioration partielle ne pouvant détruire la série des inconvénients que nous avons signalés, et ceux presque aussi graves dont il nous reste à entretenir nos lecteurs.

II

Disposition défavorable des constructions.

Les bâtiments de l'Observatoire sont-ils conçus d'après un plan conforme aux exigences de la science moderne?

L'Observatoire tel qu'il avait été construit par Perrault, consiste en un vaste corps de logis dont la grande longueur est dirigée du nord au sud, et qui s'élève à 27 ou 28 mètres au-dessus du sol de la cour d'entrée. Ce corps de logis est flanqué à droite et à gauche de deux ailes, et puis de deux tours hexagonales qui s'élèvent à la hauteur du bâtiment principal, et forment avant-corps vers le sud. Sur ce côté, qui est la façade véritable, règne une terrasse dallée, limitée par une série de balustres, et conduisant par un escalier de quelques marches à un jardin français planté d'arbres. Le jardin se trouve à la hauteur du premier étage de la façade nord.

La masse du bâtiment est divisée en deux étages, et se trouvait

à l'origine terminée par une terrasse plane sur laquelle, suivant les idées de Perrault, les astronomes devaient chaque soir monter leurs lunettes. La galerie du second étage, ouverte au nord et au sud par de grandes fenêtres, était destinée à installer ou à abriter les lunettes non achromatiques de 16 à 20 mètres de long, avec lesquelles on observait à cette époque la constitution physique des planètes ou les révolutions de leurs satellites.

L'Observatoire renferme certains détails de construction qu'on ne saurait trop louer. Les voûtes sont fort belles, et, si l'on en croit les anciennes descriptions des monuments de Paris, l'escalier doit être admiré par tous les architectes. Malgré tout cela, le bâtiment n'a, à aucune époque, satisfait les astronomes. Lorsque Cassini Ier en prit possession (1671), il se plaignit vivement de ne pouvoir établir sans constructions nouvelles un quart de cercle dont il avait besoin pour ses recherches. Plus tard (1700), lorsque Rœmer imagina la lunette méridienne, l'instrument ne put être établi à Paris, et ce fut un observatoire d'Allemagne qui bénéficia le premier d'une invention faite en France, par un astronome que les bienfaits de Louis XIV avaient attaché à notre pays. En 1732, il ne se trouva dans le grand bâtiment aucun endroit où l'on pût établir un quart de cercle mural de 2 mètres de rayon. Renonçant alors à l'édifice principal, l'Académie des sciences fit bâtir un cabinet extérieur, attenant à la tour orientale. Le même embarras se reproduisit en 1742, à propos de la construction d'un quart de cercle mobile, et on fit un second cabinet voisin du premier. Quelques années plus tard, vers 1760, une petite tourelle à toit tournant fut érigée au sud des deux premières bâtisses accessoires.

Notre observatoire, ainsi amélioré par toutes sortes de constructions accessoires, avait pris un rang des plus honorables parmi les établissements analogues d'Europe. Sous la direction de la famille Cassini, il s'était signalé par la découverte des satellites de Saturne (1671-1684), par la détermination de la vitesse de la lumière (1675), la démonstration de la libration de la Lune (1710), l'aplatissement de Jupiter (1691), la découverte des étoiles périodiques (1704), la construction d'une grande carte de la Lune (vers 1695). Nous devons ajouter que les astronomes de l'observatoire de Paris prirent au dix-huitième siècle une grande part à la mesure de la figure de la terre, et que c'est par les soins

du dernier des Cassini qu'a été construit la première grande carte topographique de la France.

Cependant le fastueux monument de C. Perrault tombait en ruine; les murailles, les voûtes, minées par les eaux pluviales, s'écroulaient pièce à pièce. Des réparations étaient urgentes; elles furent enfin commencées en 1777, mais contrairement au désir de Cassini IV, qui réclamait le dérasement de la partie supérieure de l'édifice, le bâtiment fut maintenu dans sa forme primitive, et les cabinets d'observation restaurés avec une mesquinerie déplorable.

Après la révolution de 89, l'Observatoire, qui jusqu'à cette époque avait porté le nom d'Observatoire de l'Académie, fut placé sous la direction du bureau des longitudes. De 1793 à 1830, les masures qui obstruaient les environs furent démolies, et enfin, en 1832, on reconstruisit sur un nouveau modèle les salles d'observation, et on y installa des instruments *français* capables de placer l'observatoire de Paris au niveau des établissements les plus richement dotés. C'est dans la salle méridienne actuelle, avec des instruments qui existent encore, que furent commencées les premières observations exactes et suivies.

La salle méridienne forme une pièce unique, dans laquelle sont réunis le cercle mural de Gambey, la lunette méridienne du même artiste, un grand instrument méridien de construction récente, et dont l'Observatoire peut à juste titre être fier. Trois astronomes doivent observer simultanément dans cette pièce, et s'ils s'occupent à des travaux différents, s'ils observent des étoiles diverses, ils doivent nécessairement se gêner, puisque, l'un déplacera son instrument avec précipitation et bruit, à l'instant où son voisin doit être attentif au battement de la seconde. Il serait certainement profitable au travail commun que les divers instruments fussent isolés dans des cabinets spéciaux, et un peu éloignés les uns des autres. Mais, pour réaliser cette amélioration, il faudrait reconstruire en entier la salle méridienne actuelle.

Pour les observations extra-méridiennes des planètes nouvelles, ou des comètes, les astronomes possèdent deux équatoriaux placés à l'angle sud-ouest du jardin, au voisinage trop immédiat des lumières du boulevard Arago, et une belle lunette équatoriale de 5 mètres de foyer installée au sommet de la tour occidentale; c'est ce dernier instrument qui est le plus généralement employé. Sa position sur la terrasse supérieure de l'Observatoire a pour

avantage de l'élever un peu au-dessus des brouillards et des lumières de la ville, mais elle lui donne une assez grande instabilité, et force l'astronome à faire plusieurs fois par soirée une ascension des plus pénibles.

Quant au télescope de 40 centimètres de M. Foucault, il n'est installé nulle part à demeure; il semble que dans l'Observatoire il n'y a pas place pour lui.

L'exiguïté du jardin actuel deviendra encore plus sensible dans quelques années. En 1865, la chambre des députés a voté un crédit de près de 400,000 francs pour construire et monter un télescope de $1^m,20$ de diamètre, et une lunette qui, avec 75 centimètres d'ouverture, ne peut avoir moins de 15 ou 16 mètres de longueur focale. Le premier de ces instruments est aujourd'hui commencé, et il faut songer à le placer. Impossible de charger les murs et les voûtes d'un poids aussi considérable, on doit donc renoncer à l'installer sur la terrasse supérieure dans le voisinage de l'équatorial actuel. Reste le jardin, mais ici nouvelle difficulté. Quand on se place au milieu du jardin, la vue du ciel est limitée au nord par le bâtiment principal, et si on marche au sud, on tombe de suite dans la ligne des becs de gaz du boulevard Arago. De l'aveu de M. Le Verrier lui-même, la région dans laquelle on peut chercher à placer l'instrument se réduit à une dizaine de mètres, et encore faut-il se résigner à perdre une portion notable de l'horizon nord ; les parties du ciel situées au-dessous du pôle seront presque invisibles, et pour examiner les constellations qui s'y trouvent, il faudra attendre la saison où elles veulent bien se montrer à notre zénith.

Il est vrai que cet inconvénient peut être diminué si, suivant l'ancien projet de Cassini IV, on se résout à raser l'Observatoire; c'est-à-dire à diminuer sa hauteur d'une dizaine de mètres; mais s'il faut démolir à moitié le bâtiment actuel, s'il est convenable de faire à nouveau une salle méridienne, on se demandera s'il ne serait pas raisonnable de prendre un parti plus radical, et de transférer l'Observatoire en dehors de Paris. Des dépenses inutiles seraient ainsi évitées, et dans peu d'années la France serait dotée d'un observatoire de premier ordre, capable de rivaliser avec les plus beaux établissements d'Europe et d'Amérique. En vendant les terrains actuels, estimés à six millions, le gouvernement trouverait une somme plus que suffisante pour acheter, dans la ban-

lieue de Paris, un vaste domaine où l'observatoire pourrait être établi fort à l'aise et loin de toute construction.

III

Opinion de l'Académie sur le transfert.

La commission ministérielle de 1867 n'avait pas hésité à proposer l'adoption de la mesure radicale du transfert de l'Observatoire en dehors de Paris ; elle considérait cette mesure comme indispensable pour les progrès des études astronomiques en France. La commission de l'Académie des sciences n'est point arrivée à une solution aussi énergique des difficultés pendantes ; cinq de ses membres, MM. Le Verrier, Faye, Élie de Beaumont, Dumas, Becquerel, ne reconnaissant qu'une partie des inconvénients que nous avons essayé de signaler dans cet article, ont cru que l'Observatoire actuel pouvait être conservé, mais devait être complété par l'établissement d'une succursale, comme est celle de Marseille, aux environs de la capitale ; cette dépendance de l'Observatoire aurait reçu les instruments que l'Observatoire actuel ne peut placer dans des conditions convenables, et ses fonctionnaires seraient restés sous la direction de M. Le Verrier. Six membres de la commission ont repoussé cette combinaison.

« La majorité de la commission (MM. Mathieu, Liouville, Laugier, Delaunay, Serret, Y. Villarceau) pense, dit M. Serret, qu'il importe à l'honneur scientifique de la France que l'Observatoire impérial soit un observatoire de *premier ordre*, c'est-à-dire qu'il soit constitué de manière qu'on puisse y entreprendre, comme à Poulkowa, tous les travaux qu'exige la solution des problèmes astronomiques les plus élevés ; mais en même temps elle n'accepte pour lui aucune succursale.

« L'établissement qui porte aujourd'hui le nom d'Observatoire impérial ne saurait, quoi qu'on fasse, réaliser les vues de la majorité de votre commission ; il doit renoncer à son titre. Mais il n'en résulte pas que cet Observatoire doive être détruit ou même supprimé. Ce que nous demandons, c'est la construction de l'Observatoire impérial, sans succursale, dans les conditions les meilleures, et par conséquent dans un lieu voisin de Paris. Et ce sera

l'éternel honneur du gouvernement d'avoir donné satisfaction à ce vœu unanime des astronomes, en dotant la France d'un observatoire modèle. Quant à l'Observatoire actuel, rien n'empêche qu'il ne soit conservé, si l'on veut ; car personne ne conteste que l'on n'y puisse faire utilement certains travaux.

En résumé, la commission propose à l'Académie, à la majorité de six voix contre cinq, de répondre à Son Excellence le ministre de l'instruction publique :

« 1° Qu'il est nécessaire de transférer l'Observatoire impérial en un lieu voisin de Paris, et de construire dans le nouvel établissement, des logements pour tout le personnel astronomique.

« 2° Qu'il est désirable que le bâtiment actuel soit conservé intégralement ; mais que, si l'on y maintient un observatoire, on n'en fasse pas une succursale de l'Observatoire impérial.

La translation d'un grand observatoire de la ville à la campagne n'est pas sans précédent dans l'histoire astronomique de ces dernières années. En 1832, Wilhelm Struve obtenait de l'empereur de Russie le transfert de l'observatoire de Saint-Pétersbourg sur la colline de Poulkowa, voisine de la capitale. L'observatoire d'Altona, que dirige avec tant de science M. Peters, est en train d'être transporté d'Altona aux environs de Kiel. Le transfert des observatoires de Vienne et de Prague vient d'être récemment décidé. Quant à l'observatoire de Greenwich, il a été de tout temps placé loin de Londres, au milieu d'un magnifique parc qui domine la Tamise. Ajoutons que les nombreux observatoires que l'on a construits dans ces dernières années, soit en Angleterre, soit en Amérique, soit en Australie, sont tous établis à la campagne. Il n'y a plus guère aujourd'hui que les observatoires de Paris, de Washington et de Berlin, qui soient au voisinage immédiat d'une grande ville.

Les conclusions du rapport précédent, rédigé par M. Serret, semblaient donc devoir être adoptées à l'unanimité ; mais l'Académie des sciences compte parmi ses membres un grand nombre de savants, sur lesquels de glorieux souvenirs auront toujours une grande puissance ; ceux-là ont voulu sauver l'Observatoire, à la conservation duquel la commission semblait n'attacher qu'une importance secondaire. Comme, d'autre part, M. Le Verrier a nettement démontré que l'édifice actuel se prêtait encore aujourd'hui à certaines observations précises et utiles, il s'est fait

entre les deux fractions de l'Institut une sorte de compromis, et, sur l'initiative de M. Combes, on a finalement adopté à l'unanimité des voix les conclusions suivantes :

« Il importe que l'observatoire impérial actuel de Paris soit conservé sans aucun amoindrissement, et en y ajoutant des logements pour les observateurs ; mais il est nécessaire qu'un autre observatoire de premier ordre, répondant à tous les besoins de la science, avec logement pour tout le personnel, soit fondé dans un lieu convenablement choisi, en dehors et à proximité de la ville de Paris.

« Les salles ou locaux d'observations du nouvel établissement seront placés vers le centre d'un terrain clos, appartenant à l'État, et assez vaste pour assurer leur isolement à distance suffisante des constructions et voies de communications extérieures.

« L'ancien et le nouvel observatoire seront absolument indépendants l'un de l'autre : chacun poursuivra ses travaux librement sous l'empire des règlements et la haute surveillance du ministre. »

La construction d'un observatoire muni des instruments les plus perfectionnés est donc décidée en principe ; l'Académie entière, cédant à la pression des membres de sa section d'astronomie, reconnaît qu'il est nécessaire de construire un nouvel établissement ; mais que deviendra alors l'Observatoire actuel. Mal construit, enfermé dans l'atmosphère brumeuse de Paris, il se verra dépassé par son moderne confrère, et sans doute déserté des astronomes, il tombera lentement en ruine. N'aurait-il donc pas mieux valu décréter la démolition de l'édifice actuel, si souvent augmenté, remanié et toujours imparfait.

La nécessité de créer un grand observatoire, autre que celui de Paris, une fois admise, au moins en principe, on doit se préoccuper de son emplacement. Tous les membres de l'Académie s'accordent à penser qu'il doit être construit sur une des collines qui entourent la capitale ; on ne peut, en effet, éloigner les astronomes de la seule ville de France où se trouvent réunis les constructeurs nécessaires à la réparation incessante des instruments. Le nord et l'est de la capitale sont exclus par la considération que dans le bassin de la Seine, les vents régnants sont les vents d'ouest ou de sud-ouest, et qu'il ne faut pas se placer vers les points où sont entraînées les vapeurs et les fumées de

Paris. Au sud ou au sud-ouest de la capitale, les collines les plus élevées sont celles du voisinage de Sceaux ou de Versailles, c'est donc dans cette région, peut-être à Fontenay, que sera un jour établi le futur observatoire.

Il ne s'agit pas d'ailleurs de faire un monument où on tâchera de loger des lunettes. Suivant la maxime émise, il y a deux siècles, par Rœmer, il est indispensable que le bâtiment soit construit pour les instruments, et non les instruments pour l'observatoire. En conséquence le plan des constructions devra être fait par l'astronome et non par l'architecte. Le principal travail de maçonnerie consistera en piliers solides arrêtés à fleur de terre, et les murs seront en briques ou même en bois.

Nous sommes loin, on le voit, des idées de C. Perrault. L'Observatoire ne sera pas un monument d'une masse imposante et d'un style sévère, il se présentera comme un assemblage de maisons séparées par des jardins. Chacune d'elles renfermera un seul instrument, en sorte que les observateurs ne seront pas les uns pour les autres une cause de dérangement ou de perte de temps. D'un autre côté, les grands instruments équatoriaux pourront être placés à la surface du sol, et on n'aura plus à craindre les vibrations qui résultent de leur position au sommet d'une tour de 27 mètres. Enfin, les cabinets qui doivent enfermer les lunettes auront leurs parois verticales percées de nombreuses ouvertures, la circulation de l'air sera partout facile, et les réfractions anormales ne devront plus avoir qu'une importance négligeable. Ajoutons encore que des constructions aussi légères pourront être facilement modifiées dans leur forme et leur grandeur, et se prêteront ainsi à toutes les modifications instrumentales.

Nous n'oserions affirmer que le ciel des environs de Paris possède une pureté idéale, et qu'on ne trouverait point en France des localités mieux dotées sous ce rapport, mais ce qui est certain, c'est qu'en s'élevant d'une centaine de mètres au-dessus du niveau actuel de l'Observatoire, et surtout en s'éloignant d'une dizaine de kilomètres vers le sud ou le sud-ouest de la capitale, on rencontrera une atmosphère moins brumeuse que celle de Paris, et surtout une atmosphère qui ne sera ni imprégnée de poussière, ni éclairée par le gaz comme celle de la ville de Paris. Nous croyons donc fermement que les observations astronomiques ga-

gneraient en précision et en facilité par le transfert de l'Observatoire; nous pensons également que la France doit avoir un Observatoire construit pour les instruments qu'on doit y placer, et qu'à ce point de vue il est temps de faire cesser le provisoire et les dépenses mesquines.

PIERRE LELONG.

III

NOTICE NÉCROLOGIQUE

BREWSTER.

Brewster, né à Jedburgh le 11 décembre 1781, mort à Edimbourg le 10 février 1868, fut d'abord destiné à l'état ecclésiastique. Ses études, dirigées vers ce but, l'amenèrent de bonne heure à prendre divers grades universitaires, et c'est ainsi qu'il était, dès 1800, maître ès arts d'Édimbourg, et, en 1807, docteur en droit d'Aberdeen. La carrière de clergyman s'ouvrait brillante devant lui; mais une certaine timidité, et surtout un vif désir de se livrer à des recherches de physique — il avait, dès l'âge de dix ans, construit une lunette — lui firent décliner les offres les plus avantageuses, et, cédant à ses goûts, il se consacra bientôt tout entier à ses travaux de prédilection.

La première entreprise scientifique à laquelle Brewster s'attacha est la publication de l'encyclopédie d'Édimbourg; ce vaste ouvrage, commencé en 1808 et terminé seulement en 1830, renferme de nombreux articles dus à la plume du savant physicien écossais : tous témoignent d'une haute culture littéraire, mais ils manquent quelquefois d'impartialité. Brewster mettait, en effet, un certain amour-propre national à prouver que l'Angleterre avait souvent devancé la France dans la voie des découvertes scientifiques; et ce ne fut point là une erreur passagère; les articles qu'il rédigeait, en 1824, pour l'*Encyclopédie britannique* sont empreints du même chauvinisme que ceux de 1808, témoin cette heureuse boutade écrite par Fresnel au docteur Young au

sujet de l'article Optique que ce dernier voulait faire rédiger par Fresnel : « En y réfléchissant bien, cependant, dois-je regretter de ne pouvoir travailler pour un ouvrage anglais? Avons-nous lieu de nous louer en France des jugements qu'on porte en Angleterre de nos travaux et de nos découvertes? Le docteur Brewster prétend que c'est d'après ses idées qu'on a perfectionné l'éclairage du phare de Cordouan, quoique l'invention et l'exécution des lentilles à échelons soient toutes françaises, du commencement jusqu'à la fin. Il réclame aussi la découverte des modifications imprimées par la réflexion totale à la lumière polarisée, modifications dont il n'avait pas une idée bien juste, si j'en juge par ce qu'il a publié sur ce sujet..... »

L'époque à laquelle Brewster commençait ses travaux d'optique était éminemment favorable pour se faire dans cette voie une haute renommée. Young, dans ses *Lectures on natural Philosophy* (1807), venait de formuler d'une manière nette le principe des interférences, et, pour preuve de sa fécondité, il en avait immédiatement déduit l'explication des anneaux colorés des lames minces et des lames épaisses, des arcs surnuméraires de l'arc-en-ciel, de la couleur des corps et des principales expériences de diffraction. La lutte entre les partisans de la théorie de l'émission et ceux de l'hypothèse des ondulations était ardente et de tous les jours ; s'il n'était pas difficile de démontrer l'insuffisance des idées de Newton, la théorie des ondulations, telle que l'exposaient Hugyhens et Young, était encore trop incomplète pour forcer dans leurs derniers retranchements les partisans de l'ancien système.

Brewster se range immédiatement, et ce sera pour lui un éternel honneur, parmi les novateurs et débute par l'étude des irisations de la nacre de perle; suivant le physicien écossais, « *On new proprieties of ligth exhibited in the optical phenomena of Mother of Pearl* » (Philos. trans., 1814), les couleurs de la nacre de perle sont dues aux stries de sa surface et sont par conséquent simplement dues à un phénomène d'interférence entre les rayons réfléchis sur la série des parties saillantes de la coquille. Ce mémoire; joint à quelques travaux sur la polarisation de la lumière par transmission oblique et par son passage à travers le verre trempé, mérita à son auteur la médaille Copley (1815) et un prix à l'Institut de France (1816)

La polarisation chromatique, découverte en 1811 par Arago, venait de donner une méthode sûre et facile pour déceler, même dans les plus petits cristaux, la double réfraction et distinguer entre eux les cristaux à un axe et les cristaux à deux axes. Brewster, répétant sur une vaste échelle les expériences d'Arago et de Biot, arriva bientôt à rendre la liste des cristaux biréfringents presque aussi nombreuse que celle des cristaux uniréfringents, et, comme conséquence de ses études, il mettait en évidence une relation curieuse entre les propriétés optiques et la forme cristalline des substances. Les physiciens savaient, depuis Dufay (1739), que la double réfraction n'existe jamais dans les substances homogènes ou dans les cristaux du système cubique, Brewster était arrivé à démontrer, par l'examen de plus de 250 substances, que l'existence d'un axe optique caractérise les cristaux du système hexagonal et du système du prisme droit à base carrée dans lesquels le cristal est symétrique autour d'un axe principal, tandis que dans les cristaux des autres systèmes, où aucun axe ne jouit de cette propriété de symétrie, il existe toujours deux axes optiques. Les recherches précédentes publiées sous le titre : *On the laws of polarisation and double refraction in crystallised Bodies.* (Transact. Philos., 1818), constituent le travail le plus remarquable publié par Brewster dans sa longue carrière; elles constituent son véritable titre de gloire, et valurent à leur auteur la médaille de Rumfort, la plus grande des distinctions qu'accorde aux savants la Société royale de Londres.

D'ailleurs, les titres de Brewster à cette haute récompense ne se bornaient point au mémoire dont nous venons de résumer les conclusions; le physicien écossais avait dès cette époque commencé la mesure de l'indice de réfraction et de l'angle de polarisation complète des principales substances transparentes, et chemin faisant, sans être guidé par aucune idée théorique, il avait découvert que l'indice de réfraction de la substance est égal à la tangente de l'angle de polarisation. Le mémoire sur ce sujet présenté à la Société royale de Londres, le 16 mars 1815, se trouve imprimé dans les Transactions de la même année.

Ce mémoire et celui de 1818 sont les deux seuls travaux dans lesquels Brewster soit arrivé à une loi générale. Observateur habile et surtout tenace, il ne se laissait décourager par aucune difficulté, mais par son éducation première, il avait une connais-

sance trop superficielle des mathématiques pour arriver aisément à généraliser les faits qu'il avait découverts ou vérifiés. La plupart de ses mémoires ont, en effet, pour objet la monographie de substances monoréfringentes ou biréfringentes dont il a étudié toutes les propriétés physiques. Parmi ces monographies, nous devons citer celles du diamant, de l'ambre, du cyanure double de platine et magnésium, de la glauberite, qui présente la singulière propriété d'avoir un seul axe de double réfraction pour les rayons violets et deux pour les rayons rouges.

Brewster s'est aussi occupé de la phosphorescence. Son mémoire sur ce sujet date de 1819. En opérant sur des corps en assez gros fragments, qu'il plaçait sur une masse de fer chaud, il arriva à montrer que le nombre des corps phosphorescents par la chaleur est de 60 environ. Avant lui, on en connaissait une douzaine. C'est ici un exemple caractéristique de la manière de procéder de Brewster ; il n'a rien découvert, il a complété une liste en soumettant à des essais réglés d'avance tous les minéraux qui lui tombent sous la main.

Les mémoires du physicien écossais sont extrêmement nombreux ; trois cents peut-être, car pendant longtemps il en a publié un tous les deux ou trois mois, et il est inutile d'en donner ici la longue nomenclature ; il nous suffira de rappeler qu'en 1834, dans un mémoire sur le spectre solaire, il annonçait que certaines des lignes noires du spectre solaire étaient dues à l'absorption de notre atmosphère. Depuis cette époque, les travaux de Kirchhoff et de M. Janssen ont singulièrement développé l'observation première de Brewster ; mais il est juste de reconnaître que par ce travail et ses publications sur les effets d'absorption produits par les vapeurs et les gaz colorés, l'acide hypoazotique, l'iode, le chlore, il a ouvert la voie féconde qui a conduit à reconnaître la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère des planètes.

Le nom du physicien écossais se trouve mêlé à l'histoire de la la vision; nous lui devons une étude et une explication des fonctions de la rétine, du phénomène des mouches volantes et la connaissance de nombre de particularités curieuses de la vision simple ou de la vision binoculaire. Il est enfin l'inventeur du kaléidoscope.

Les recherches originales ne suffisaient point à l'activité de

Brewster : pendant toute sa vie, il n'a cessé un seul jour de collaborer aux journaux scientifiques d'Angleterre et aux encyclopédies. Les articles qu'il a ainsi écrits sont sans nombre et traitent des points de science les plus variés ; il y a des notices biographiques sur Newton, Euler, Galilée, Tycho-Brahé, Kepler, Davy, Watt ; des analyses des travaux de physique faits à l'étranger, et enfin nombre d'exposés dont le but évident est de populariser la science.

Peu de physiciens ont, du reste, autant écrit que Brewster, et peu d'entre eux seront aussi souvent cités que le savant Écossais ; car, si le nom de Brewster ne répond à aucune de ces grandes découvertes qui sont une source féconde de travaux, il a pris une part très-active au renouvellement des théories de l'optique. Pour étudier le mécanisme de la polarisation ou de la double réfraction, il faut sans doute consulter Fresnel, mais si on a à faire une application numérique, c'est à une détermination de Brewster qu'on doit avoir recours.

Depuis de longues années, les travaux consciencieux du physicien d'Édimbourg avaient attiré sur lui l'attention de ses compatriotes et des étrangers ; sir David Brewster avait été nommé membre de la Société royale d'Édimbourg en 1808, membre de la Société royale d'Angleterre en 1815, correspondant de l'Académie des sciences en 1825, et enfin un des huit associés étrangers de notre Institut en 1849.

G. R.

IV

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Le Soleil, par M. A. Guillemin. 1 vol. in-18, Hachette.

Si l'on voulait se faire une idée précise des progrès de la science depuis une vingtaine d'années, il suffirait de comparer ce qu'Arago publiait sur le soleil dans ses derniers ouvrages, aux notions que nous donne aujourd'hui M. A. Guillemin. Combien on est loin du moment où l'on supposait que le soleil pouvait être

habité ! Des êtres vivants dans cette terrible fournaise où le platine est gazeux, d'où jaillissent ces flammes formidables d'hydrogène qui dardent leurs langues fourchues à des hauteurs plus grandes que le diamètre de la terre ! Nos connaissances se sont tellement étendues depuis l'admirable découverte de l'analyse spectrale que cette idée nous fait sourire.

Dans son nouvel ouvrage, M. A. Guillemin nous rappelle d'abord les notions acquises dès longtemps sur les dimensions du soleil par rapport aux autres astres, sur sa distance à la terre, sur son mouvement propre et apparent, etc. ; mais bientôt il atteint les parties délicates de son sujet, il nous montre les taches solaires et il discute les nombreuses hypothèses qui ont été émises pour expliquer leur formation ; plus loin, il résume tout ce qu'on sait aujourd'hui sur la constitution physique du soleil, sur les protubérances et leur composition ; il cherche enfin à quelles causes on peut attribuer la chaleur solaire qui se déverse dans l'univers depuis des milliers d'années avec une prodigalité qui ferait croire qu'elle est inépuisable. Viendra-t-il cependant un moment où le soleil, refroidi, cessera d'éclairer notre terre ? Qu'adviendra-t-il alors du genre humain ? Il périra, et rien ne viendra troubler le silence des solitudes glacées de notre terre, dépouillée de tous les êtres vivants qui l'animent aujourd'hui. Ici le savant doit laisser la place au poëte, lui seul peut trouver dans sa puissante imagination les couleurs qui conviennent à ces lugubres tableaux... Un beau fragment de lord Byron, que M. A. Guillemin introduit à la fin de son volume, nous fait assister aux scènes terribles, dont la terre est le théâtre, quand s'y étendent les ténèbres qui succèdent au dernier jour.

Les nombreux lecteurs de M. A. Guillemin connaissent sa manière sage et rigoureuse, sa consciencieuse exactitude, son érudition profonde dont il se garde de faire étalage... nous n'insisterons donc pas sur les qualités du livre de M. A. Guillemin ; le nom de l'auteur suffit à le recommander.

P. P. D.

PHYSIQUE

I

LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE

ET LA COLORATION BLEUE DU CIEL

EXPÉRIENCES DE M. TYNDALL.

On a dit bien souvent que ce ne sont pas les phénomènes que nous avons le plus fréquemment l'occasion d'observer qui nous sont le mieux connus, et parmi les nombreux exemples que l'on peut donner à l'appui de cette opinion, on peut citer la coloration bleue du ciel dont il n'a pas été donné jusqu'à présent une explication complète. A quelle cause, en effet, doit-on rapporter cette couleur de la voûte céleste, couleur si pure qui attire forcément les regards et l'attention dans une belle journée, et qui s'harmonise si heureusement avec les paysages divers que nous rencontrons à la surface de notre globe? Devons-nous rattacher cette coloration au même ordre de phénomènes qui peut donner une explication plausible des couleurs des corps, et faut-il penser qu'elle dépend de la couleur propre de l'air pris sous une grande épaisseur et dont l'intensité serait assez faible pour qu'il ne fallût rien moins que la couche atmosphérique entière pour la mettre en évidence? Est-il nécessaire d'admettre que c'est à l'intervention de particules étrangères finement divisées que l'on doit rapporter la cause de cette coloration? Ces questions ont été traitées à diverses reprises, et il faudrait remonter à Aristote si l'on voulait rapporter les principales opinions qui ont été émises. Deux

lectures faites à Londres par Tyndall donnent à ce sujet une véritable actualité [1], et il nous a paru intéressant de résumer les expériences qu'il a faites et l'opinion à laquelle il est arrivé. Mais, pour le suivre jusqu'à la conclusion, pour saisir les parties intéressantes de son travail, il est nécessaire d'avoir présents à l'esprit les notions fondamentales et les faits principaux de l'optique. Nous consacrerons donc un premier paragraphe à rappeler les uns et les autres avant d'aborder le sujet même de l'article : nous ne nous dissimulons pas les difficultés d'un semblable résumé qui, pour éviter d'être diffus, peut devenir trop bref et, après s'être gardé d'un excès, tomber dans le défaut opposé. Aussi croyons-nous devoir réclamer une grande indulgence pour cet exposé rapide des principes de l'optique.

I

Les premiers phénomènes lumineux observés, ceux dont les anciens ont cherché l'explication, sont peu nombreux : la production des ombres, la réflexion sur les miroirs, et avant tout la possibilité de voir les corps avec leur forme et leurs couleurs, tels sont presque exclusivement les faits se rapportant à l'optique qui aient attiré leur attention. Comme notre intention n'est nullement d'écrire l'histoire de cette partie de la physique, nous n'avons pas à nous appesantir sur les explications plus ou moins bizarres qui ont été successivement admises. Nous dirons seulement quelques mots de l'hypothèse de l'*émission* qui satisfaisait pleinement à faire comprendre les phénomènes précédemment cités, que Newton a admise et que l'autorité de son nom a maintenue longtemps malgré des faits nouveaux qu'elle expliquait mal.

Dans cette hypothèse, les corps lumineux envoyaient à chaque instant, dans toutes les directions, de petites particules impondérables qui, venant choquer le fond de l'œil, donnaient naissance à la sensation de lumière. Ces particules étaient supposées se mouvoir en ligne droite et étaient en outre susceptibles de rebondir à la surface des corps polis comme une balle élastique ;

[1] *Revue des cours scientifiques*, 1869, p. 262 et 284.

ces caractères donnaient une explication facile de la formation des ombres et de la réflexion : les différences de résistance que ces particules lumineuses éprouvaient dans les différents corps faisaient comprendre la réfraction : en un mot, ce que l'on nomme l'optique géométrique était complétement et plausiblement expliquée par une hypothèse simple et naturelle.

Mais des faits plus délicats, d'une observation moins facile, étudiés d'abord par Grimaldi et par Newton lui-même, les *franges de diffraction* qui bordent les ombres des corps éclairés par *un seul* point lumineux, les anneaux colorés obtenus dans diverses conditions exigent de nouvelles hypothèses subsidiaires et conduisirent Newton à sa théorie des *accès* qu'il dut encore compliquer lorsqu'il voulut expliquer les phénomènes de la double réfraction. Malgré ces modifications successives, la théorie de l'émission a été peu à peu abandonnée en présence du système des *ondulations* dû à Huyghens, perfectionné et complété par Young et Fresnel, et dont le principe même permet d'expliquer les faits que nous citions tout à l'heure. Depuis les expériences de Foucault, sur la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau, la théorie de l'émission est reconnue fausse : contrairement à ce qu'elle démontre comme une conséquence forcée de son principe, la lumière se meut avec une plus grande rapidité dans l'air que dans l'eau.

Les phénomènes divers de la *polarisation* ont permis de déterminer ce qui d'abord était laissé à l'arbitraire dans le système des ondulations, ainsi que nous allons l'indiquer, et de compléter l'hypothèse d'Huyghens de manière qu'elle donne l'explication des faits connus jusqu'à présent. Nous allons indiquer rapidement le principe de la théorie ondulatoire en insistant quelque peu sur les phénomènes et les conditions de la polarisation.

La lumière, dans la théorie de Huyghens, résulte de l'action, sur notre œil, des molécules d'un fluide très-élastique répandu dans tout l'espace, et possédant un mouvement oscillatoire très-rapide : ce n'est pas le fluide qui produit la sensation lumineuse, c'est son mouvement. Ce fluide a reçu le nom d'*ether ;* il doit occuper les espaces dans lesquels se meuvent les astres, puisque la lumière de ceux-ci nous parvient, il doit exister entre les molécules des corps transparents, puisque la lumière peut les tra-

verser. Le mouvement est communiqué à l'éther par le corps lumineux et s'étend de proche en proche suivant des sphères de rayon croissant et ayant le corps lumineux pour centre, au moins dans un milieu homogène, par raison de symétrie. Pour qu'un corps donne naissance à une sensation lumineuse, il faut qu'il communique à l'éther une série de mouvements réguliers, isochrones se transmettant de proche en proche, de telle sorte que chaque molécule exécute des vibrations de même durée entre deux positions extrêmes très-peu distantes de la position d'équilibre. On appelle *rayon lumineux* toute ligne droite partant du centre du mouvement; sur un rayon lumineux, les molécules d'éther sont toutes en vibration et passent successivement par les mêmes positions relatives; à un même instant, elles ont des positions différentes, elles se trouvent dans des *phases* diverses de leur mouvement, les unes étant au commencement, d'autres au milieu, d'autres à la fin, et d'autres, bien entendu, dans toutes les positions intermédiaires. Mais ces divers mouvements étant tous la conséquence du mouvement périodique de la source lumineuse, ne sont pas indépendants les uns des autres; en appliquant les principes de la mécanique à ces mouvements communiqués, on reconnaît que toutes les molécules qui, à un même instant, sont dans la même phase, se trouvent à égales distances les unes des autres : cette distance s'appelle la *longueur d'onde*. On voit de même, et cela se conçoit facilement, que deux molécules distantes d'une demi-longueur d'onde sont au même instant dans des phases opposées; l'une, par exemple, commençant sa vibration, l'autre finissant la sienne.

Cette théorie permet de comprendre très-facilement tous les phénomènes qui dépendent des *interférences*. Dans toutes les expériences se rapportant à cet ordre d'idée, on trouve en somme deux rayons de lumière qui, séparément, agiraient sur l'œil, et qui, simultanément, loin d'ajouter leurs effets, sont sans action. Cette destruction réciproque de deux effets *identiques* se comprend difficilement dans la théorie de l'émission; car, si chaque particule lumineuse cause la sensation spéciale en choquant notre œil, ensemble elles produisent un choc plus violent et par suite devraient nous faire éprouver une sensation plus forte. Dans l'hypothèse des ondulations, la difficulté n'existe pas; il est clair que, si les actions de deux sources lumineuses avaient pour effet

de communiquer au même instant à une molécule d'éther deux déplacements égaux mais opposés, cette molécule resterait au repos, et par suite ne pourrait nous communiquer une impression lumineuse, bien que chaque action séparément fût susceptible de le faire.

Nous n'avons pas à faire une théorie complète de la lumière; laissons donc les *surfaces d'onde* pour nous occuper seulement d'un rayon lumineux. Dans la constitution que nous supposons à un de ces rayons, nous avons bien dit que les diverses molécules d'éther situées en ligne droite possèdent des mouvements oscillatoires isochrones, mais nous n'avons nullement spécifié dans quelle direction s'effectuent les oscillations; quelle que soit cette direction, on peut la ramener à la considération d'une oscillation faite parallèlement au rayon lumineux et d'une autre perpendiculaire à cette même ligne. Rien ne s'opposerait à ce que l'on pût admettre que l'oscillation s'effectue dans le sens même de la propagation de la lumière, dans la direction du rayon lumineux, si l'on n'avait à expliquer que les phénomènes de l'optique géométrique ou ceux de l'interférence, puisque ceux-ci exigent simplement la possibilité de deux déplacements simultanés égaux en valeur, mais de sens opposés, conditions qui pourraient être remplies dans le cas d'oscillations longitudinales.

Mais cette constitution du rayon lumineux lui donnerait forcément et toujours la plus grande symétrie de propriétés sur ses différentes faces, pour ainsi dire; ainsi, supposons un rayon lumineux horizontal sur lequel les molécules se déplacent dans sa direction même, nous ne pouvons concevoir une modification quelconque qui puisse rendre différentes sa partie droite et sa partie gauche, ou sa face supérieure et sa face inférieure. Il en résulterait qu'un semblable rayon devrait, par exemple, se réfléchir toujours de même sur un miroir avec lequel il ferait le même angle, que ce miroir fût incliné vers sa gauche ou vers sa droite, en haut ou en bas. Or, l'expérience montre que, dans certains cas, les rayons lumineux se réfléchissent différemment, pour prendre le même exemple, suivant le côté vers lequel le miroir est incliné : il faut donc de toute nécessité que le mouvement oscillatoire des molécules situées sur un rayon lumineux se fasse perpendiculairement à cette droite. Il résulte, du reste, d'autres expériences sur lesquelles nous ne pouvons insister (im-

possibilité de faire interférer, même partiellement, deux rayons polarisés à angle droit), que le mouvement oscillatoire des molécules d'éther ne peut avoir aucune composante dans le sens du rayon lumineux.

Nous admettrons donc que les molécules d'éther vibrent perpendiculairement au rayon lumineux ; mais ce mode de vibration présente une indétermination encore bien grande : il n'y a, pour un même point, qu'une manière de se déplacer suivant une direction donnée ; il y en a une infinité de se mouvoir perpendiculairement à une droite. Ainsi, par exemple, un corps qui tombe suivant la verticale ne peut suivre qu'une seule ligne ; s'il est astreint à se mouvoir perpendiculairement à cette verticale, il peut se déplacer d'une infinité de manières en satisfaisant à cette condition, puisqu'il lui suffit de rester dans un plan horizontal.

Les différents résultats de l'expérience conduisent à penser que dans un rayon de lumière *naturelle*, la direction de la vibration n'a rien de fixe, et que, pour une même molécule d'éther, elle change à chaque instant avec une extrême rapidité. La grossière comparaison suivante nous représentera la constitution d'un rayon lumineux : nous figurons sa direction à l'aide d'une corde tendue ou d'un axe rigide ; le sens des vibrations est celui des rais d'une série de roues immobiles que nous supposons perpendiculaires à cet axe ; les molécules d'éther seraient représentées par des corps quelconques qui se mouvraient dans le plan de chaque roue en suivant tantôt l'un des rais, tantôt l'autre, leur mouvement est la cause même de la lumière : s'il cesse, elle s'éteint.

Si l'on interpose sur la direction d'un rayon lumineux un fragment de tourmaline taillé en lame dans un certain sens, le rayon qui a traversé ce cristal présente des propriétés toutes spéciales, quoique, sauf un léger affaiblissement, il produise, lorsqu'il est reçu dans l'œil, le même effet qu'avant l'interposition de la tourmaline ; par exemple, si on lui fait traverser une seconde tourmaline taillée comme la première et placée parallèlement, en donnant à celle-ci un mouvement de rotation dans son plan, on observera des variations notables d'intensité, et, dans certaines conditions même, une extinction de ce rayon. Un rayon lumineux ainsi susceptible d'être éteint en totalité ou en partie par une tourmaline est *polarisé*.

Un rayon polarisé diffère du rayon de lumière naturelle, dans l'hypothèse de Fresnel, en ce que les vibrations des molécules d'éther, au lieu de présenter des directions quelconques dans chaque surface d'onde, vibrent toutes suivant des lignes parallèles, par suite toutes dans un même plan passant par la direction du rayon lumineux.

Dans la comparaison que nous avons précédemment indiquée pour faire comprendre la constitution hypothétique d'un rayon de lumière, il faut, pour se rendre compte de ce qu'est un rayon polarisé, supposer que, dans chaque roue, les rais se déplacent de manière à coïncider, et que, d'une roue à l'autre, les directions de ces rais uniques sur lesquels a lieu le mouvement des molécules sont parallèles.

On conçoit que cette différence de constitution hypothétique peut et doit correspondre à des propriétés distinctes : par exemple, tandis que le rayon de lumière naturelle doit avoir les mêmes propriétés sur toutes ses faces, pour ainsi dire, puisque les vibrations extrêmement nombreuses des molécules d'éther se font également dans toutes les directions, le rayon de lumière polarisée doit présenter des effets divers suivant qu'on l'étudie sur la face ou sur la tranche du plan dans lequel oscillent toutes les molécules. A cet égard, on peut encore se représenter le rayon de lumière naturelle comme un cylindre circulaire, identique à lui-même pour tout son pourtour, tandis que le rayon de lumière polarisée serait assimilé à une règle plate qui se présente différemment suivant que l'on examine sa tranche ou sa face.

Pour éviter les périphrases, il convient de dire que l'on désigne sous le nom de *plan de polarisation* d'un rayon lumineux un plan passant par ce rayon et *perpendiculaire* à la direction des vibrations des molécules d'éther : c'est un plan, par suite et pour revenir à la comparaison précédente, qui est perpendiculaire à la règle plate qui symbolise le rayon polarisé.

On démontre, sans qu'il nous soit loisible de nous arrêter sur ce sujet, que l'on peut toujours considérer un faisceau de lumière naturelle comme provenant de la superposition de deux faisceaux polarisés dont les plans de polarisation sont à angle droit. Dès lors, nous pourrons, dans notre comparaison, remplacer le cylindre, symbole du rayon naturel par deux règles plates dont les plans seraient rectangulaires.

On peut aussi, par une comparaison matérielle, se rendre compte des effets produits par la tourmaline. Représentons-nous ce cristal taillé dans un sens convenable, comme une grille à barreaux parallèles; si l'on fait arriver sur cette grille les deux règles plates dont l'ensemble peut symboliquement représenter un rayon de lumière naturelle, on conçoit que l'on peut incliner la grille dans son plan de telle sorte qu'elle laisse passer librement une des règles, tandis qu'elle arrête absolument la règle dont le plan est perpendiculaire aux barreaux; un rayon polarisé peut résulter ainsi du passage d'un rayon naturel dans une tourmaline. L'avantage de cette comparaison, c'est qu'elle fait comprendre également l'effet de la seconde tourmaline sur le faisceau polarisé; si la grille, qui remplace cette seconde tourmaline, a ses barreaux parallèles à ceux de la première (en physique on dirait si les *sections principales* des cristaux sont parallèles), il est clair qu'elle laissera passer entièrement la règle plate (faisceau polarisé) qui a déjà traversé la première: au contraire la deuxième grille arrêtera entièrement cette même règle, et par suite la deuxième tourmaline interceptera toute lumière, si les barreaux des grilles sont perpendiculaires les uns aux autres (sections principales rectangulaires), la règle qui remplace le faisceau polarisé, se trouvant perpendiculaire aux barreaux contre lesquels elle vient buter.

Il importe de remarquer que cette représentation symbolique des faisceaux par des solides matériels, cylindres ou plans, quoique permettant des comparaisons avantageuses, est moins bonne que celle que nous avions précédemment donnée, dans laquelle l'idée de mouvement vibratoire des molécules était conservée et qui fait mieux comprendre que le rayon lumineux n'a pas d'existence matérielle et qu'il est seulement l'ensemble des molécules qui, à un instant donné, oscillent dans de certaines conditions.

Les tourmalines ne sont pas les seuls corps qui permettent d'obtenir de la lumière polarisée; en utilisant les phénomènes de la réflexion, de la réfraction simple ou double, on peut encore construire des *polariseurs* de diverses formes capables, du reste, de servir d'*analyseurs*, c'est-à-dire d'être employés plus ou moins avantageusement à reconnaître si un faisceau donné est polarisé ou non.

Les phénomènes de polarisation ne sont pas bornés à ceux que nous venons d'indiquer rapidement : l'action de la lumière polarisée sur certains cristaux convenablement taillés fait naître des figures de forme et de couleurs diverses qui, malgré leur complication, peuvent être prévues par l'application du calcul se basant sur l'idée de polarisation et sur celle d'interférence. On emploie souvent des lames de certains corps biréfringents comme analyseurs pour reconnaître l'existence de polarisation partielle ou totale dans un faisceau lumineux ; parmi les cristaux pour lesquels les effets sont les plus nets, on rencontre la *sélénite* (sulfate de chaux hydratée), l'azotate de potasse, le sel de la Rochelle (tartrate double de potasse et de soude), etc.

On obtient un analyseur très-commode et très-sensible par la réunion d'une lame de sélénite légèrement creusée sur une face en forme de lentille plan concave et d'un nicol (cristal de spath d'Islande séparé par un plan diagonal et réuni à l'aide de baume du Canada) ; on dirige la lame de sélénite vers le point d'où émane la lumière, et l'on observe des anneaux de coloration vive si cette lumière présente même des traces de polarisation ; les anneaux ont le maximum d'éclat si le faisceau est totalement polarisé.

Enfin, et quoique nous n'ayons pas la prétention de résumer même rapidement les lois qui régissent la polarisation, il importe d'insister quelque peu sur la valeur de l'*angle de polarisation*. On désigne sous ce nom l'angle que doit faire un rayon lumineux avec la normale à la surface réfléchissante au point d'incidence pour que la lumière soit totalement polarisée par réflexion. La valeur de cet angle est liée intimement à l'indice de réfraction de la surface de la substance sur laquelle se fait la réflexion par une loi que découvrit expérimentalement Brewster, dont les recherches sur l'optique ont été nombreuses et intéressantes [1]. On sait que lorsqu'un rayon lumineux arrive sur un milieu transparent, il subit partiellement une réflexion et partiellement aussi une réfraction, suivant les lois données pour ces phénomènes. L'angle du rayon réfléchi et du rayon réfracté varie avec l'angle d'incidence et peut, dans certaines conditions, atteindre la valeur de 90°. Brewster a montré que c'est pour cette position particulière

oir la notice biographique sur sir David Brewster, p. 37.

que le rayon réfléchi est totalement polarisé ; c'est aussi pour cette même incidence qu'un rayon polarisé totalement ne subit aucune réflexion sur le même milieu. Cet angle de *polarisation* est tel, que *sa tangente trigonométrique est précisément égale à l'indice de réfraction du milieu réfringent.*

Cette loi, trouvée par l'expérience, a été depuis expliquée entièrement par la théorie ondulatoire.

Nous supposons, dans ce qui suit, que la lumière dont on fait usage est une lumière blanche, c'est-à-dire une lumière formée de la réunion, de la superposition de rayons diversement colorés. On sait, sans que nous devions insister plus longuement, que ces rayons ont des indices de réfraction différents : considérés au point de vue de la théorie ondulatoire, ils différent les uns des autres par les durées de vibration, ces durées étant toujours très-petites et comprises entre $\frac{1}{483,000,000}$ et $\frac{1}{708,000,000}$ de millionième de seconde. Une semblable lumière, produite soit par le soleil, soit au moyen d'une lampe électrique, contient toujours, outre des rayons visibles de coloration et d'intensité diverses, des rayons différant des précédents par la durée des vibrations, ne donnant naissance à aucune sensation, lorsqu'ils agissent sur la rétine, mais produisant des effets calorifiques ou chimiques puissants; les rayons calorifiques ou *infra-rouges* se prolongent au delà de l'extrémité rouge du spectre où l'on ne peut les distinguer par l'intermédiaire de l'œil ; les rayons chimiques ou *ultra-violets*, dont nous avons à nous occuper spécialement, dépassent l'extrémité violette du spectre solaire où ils agissent bien faiblement sur la rétine, ainsi que l'a prouvé M. Mascart[1] ; mais ce n'est que dans des cond tions toutes spéciales que cette action peut avoir lieu, et l'on peut, d'une manière générale, regarder la rétine comme insensible aux rayons ultra-violets.

II

Les travaux de Tyndall ont porté presque exclusivement sur la physique moléculaire : dans la plupart des cas, il a cherché à mettre en évidence l'existence des propriétés qui s'exercent entre

[1] Voy. plus loin la *Physiologie*.

les derniers éléments de la matière et à faire comprendre comment les expériences peuvent nous donner des indications sur la constitution intime des corps. Après avoir mis hors de doute, par d'ingénieuses observations, l'influence réciproque des gaz ou des vapeurs et de la chaleur, il s'est occupé de l'action de la lumière sur les mêmes corps, et c'est dans le cours de ces dernières recherches qu'il a été conduit à s'occuper de la coloration du ciel. Nous devons suivre le même ordre, et il nous faut indiquer tout d'abord l'influence chimique des rayons lumineux.

Les expériences se font dans des tubes en verre présentant une certaine longueur et dans lesquels on peut faire arriver, en proportions convenables et sous une pression déterminée, un mélange d'air et de vapeur de divers composés organiques parmi lesquels on peut citer les nitrites d'amyle et de butyle; on peut remplacer l'air par d'autres gaz, l'oxygène, l'azote, l'hydrogène; dans certains cas, il est bon de joindre quelques vapeurs d'acide chlorhydrique. Les phénomènes principaux sont les mêmes dans tous les cas.

Les tubes à expériences ne présentent aucune différence à l'observation la plus exacte, qu'ils soient vides absolument ou qu'ils contiennent un des mélanges gazeux précédemment indiqués; c'est là, en effet, un point sur lequel il faut insister : un milieu ne peut être manifesté sous l'influence d'un rayon lumineux qui le traverse ou sur lequel il est réfléchi, s'il ne contient des parties capables de diffuser la lumière, c'est-à-dire de la renvoyer indistinctement dans tous les sens, quelle que soit la direction du rayon émané de la source de lumière. Des expériences nombreuses ont mis depuis longtemps ce fait en évidence : un ballon entièrement vide d'air ne se distingue en rien, lorsqu'il est traversé par un faisceau lumineux, du même ballon rempli d'air, si cet air a été préalablement débarrassé de toutes particules étrangères; le passage du faisceau se voit au contraire nettement dans une chambre obscure dont l'atmosphère contient toujours des quantités notables de poussière solide. On parvient facilement à augmenter la visibilité du faisceau en projetant sur son trajet des poudres fines, de la craie pilée, du lycopode, etc. Une remarque analogue peut être faite, du reste, pour la lumière réfléchie, ainsi que le démontre l'expérience suivante : dans une chambre fermée dont les parois sont tendues d'une étoffe mate et

obscure, on fait arriver, par une ouverture pratiquée dans une paroi, un faisceau lumineux que l'on projette sur un miroir parfaitement poli et soigneusement essuyé; ce miroir reste obscur et invisible pour toutes les positions d'un observateur, sauf pour celles qui se trouvent sur la direction géométrique du rayon réfléchi. Pour ces positions particulières, du reste, on ne voit nullement le miroir, mais l'image de l'ouverture par laquelle arrive la lumière, ouverture qui paraît *absolument* au-dessous du miroir dont, nous le répétons, l'existence ne peut être soupçonnée. L'effet change complétement et le miroir devient visible de toutes les parties de la chambre sitôt que l'on projette à sa surface une fine poussière, et son éclairement est d'autant plus grand que la quantité de poussière est plus considérable. On peut, dans cette expérience et dans la précédente, remplacer la poussière solide par une poussière liquide obtenue par la *pulvérisation* de l'eau par exemple ; l effet produit est entièrement analogue.

La transparence *absolue* des tubes à expériences, dans les recherches de Tyndall, est donc une preuve que les corps s'y trouvent à l'état gazeux. Si l'on y fait arriver des rayons lumineux provenant, soit d'un arc voltaïque, soit du soleil et concentrés à l'aide d'une lentille, on voit se former un nuage sur le parcours du faisceau : l'apparition n'est pas instantanée et l on observe un temps variable, mais toujours très-court avant la formation de ce nuage; sa présence est nettement indiquée par une illumination du tube qui paraît rapidement éclairé au milieu de l'espace voisin qui reste obscur. L'aspect du tube varie, du reste, avec la nature de la lumière, avec son degré de convergence, avec la durée de l'expérience. Il se produit des phénomènes particuliers de coloration, d'irisation et même de polarisation sur lesquels nous aurons à nous étendre. Occupons-nous avant tout de cette action du rayon lumineux changeant manifestement les propriétés du gaz qu'il traverse et voyons comment on peut rattacher ces faits aux idées que l'on peut avoir sur la constitution de la matière et à l'hypothèse sur la nature de la lumière.

L'apparition des nuages, dans l'expérience que nous venons d'indiquer, est due à une décomposition chimique des gaz placés dans le tube: les produits de cette décomposition exigeraient, pour rester à l'état gazeux, une quantité de chaleur que ne peut leur fournir le milieu ambiant, et conséquemment ils passent,

soit à l'état liquide, soit à l'état solide ; ils deviennent aptes alors à diffuser la lumière et les nuages formés, comme nous l'avons dit, sont eux-mêmes sources de lumière et peuvent éclairer les parties avoisinantes.

Les lecteurs de l'*Annuaire* peuvent, en se reportant à un article précédemment publié [1], avoir à peu près sur la constitution des corps les idées que préconise M. Tyndall, sur lesquelles il base l'explication de ces faits, et que, suivant lui, ces expériences mêmes viennent corroborer. Nous allons rappeler ces idées hypothétiques et nous indiquerons ensuite parmi les preuves que l'on en peut donner celles qui se rapportent au sujet que nous traitons. Les vapeurs et les gaz en particulier sont considérés comme des agrégats de *molécules*, petites masses de matière dont la petitesse échappe à tous les moyens d'observation directe, et les molécules elles-mêmes sont composées d'*atomes*, masses du même genre, mais plus petites ; les molécules sont les éléments des corps chimiquement composés, les atomes correspondent aux éléments que l'on considère en chimie comme simples. Par exemple, une *molécule* de vapeur d'eau se compose de deux *atomes* d'hydrogène et d'un *atome* d'oxygène. En outre, ces réunions de particules, ces particules elles-mêmes sont animées de mouvements périodiques très-divers, les molécules étant entraînées dans de certaines vibrations, tandis que leurs éléments composant les atomes sont affectés en même temps de mouvements propres. On peut comprendre ces effets en comparant ces mouvements de particules infiniment petites aux mouvements des systèmes planétaires : l'ensemble de la terre et la lune se mouvant autour du soleil correspondrait alors à une molécule, dont les deux astres, qui possèdent en outre des mouvements propres, seraient les atomes. Ajoutons que, pour certains esprits, l'hypothèse ne s'arrête pas là et qu'il faut en outre supposer que les atomes, derniers éléments des corps, ne diffèrent point de nature entre eux ni des particules de l'éther lumineux, et que les propriétés diverses sont dues seulement aux mouvements également divers que possèdent les atomes.

Que les atomes des corps et les atomes d'éther soient ou non de même nature, il faut supposer que les mouvements peuvent

[1] *La physique moderne de M. Saigey*, par M. Reitop. 1868.

se communiquer en totalité ou en partie les uns aux autres; on conçoit dès lors comment les agents, autrefois dits impondérables, et parmi eux la chaleur et la lumière qui correspondent au mouvement de l'éther peuvent agir sur les corps en changeant la nature des mouvements de leurs molécules ou de leurs atomes. Mais il faut, en même temps, expliquer comment une telle action n'a pas toujours lieu et comment elle est restreinte à des cas particuliers, pour concevoir que, par exemple, la lumière décompose le chlorure d'argent et non le chlorure de sodium, etc.

On se rendra compte de ces effets en remarquant qu'il faut une certaine relation entre deux mouvements périodiques pour que les corps qui les possèdent puissent agir l'un sur l'autre, que, par suite, certains rayons lumineux dont les particules d'éther ont une vitesse déterminée peuvent seuls agir sur des molécules ou des atomes ayant un mouvement donné. Pour justifier cette idée dont l'importance est capitale pour notre démonstration, employons les comparaisons suivantes : si l'on veut mettre en mouvement un corps susceptible d'osciller sous l'action de son poids autour d'un axe horizontal, on pourra arriver au résultat par l'action de très-petits chocs répétés à intervalles égaux et dont la période soit précisément celle du mouvement oscillatoire qui peut se produire, tandis que des efforts plus considérables, mais se manifestant à des époques irrégulières ou non en concordance avec celles des oscillations du corps, ne pourront donner à ce corps le mouvement qu'il est susceptible de posséder; c'est ainsi que la régularité plus que la force est efficace pour mettre en branle les cloches de grandes dimensions, des escarpolettes, etc. De même les vibrations d'un corps sonore se transmettent par l'air à un autre corps capable de donner le même son et le font réellement vibrer, tandis que d'autres vibrations, même beaucoup plus fortes, même au contact, ne se communiquent jamais si les corps en expérience ne peuvent vibrer à l'unisson. Ces exemples permettent de comprendre pourquoi tous les corps ne se conduisent pas de même sous l'action de la lumière et pourquoi, d'autre part, les divers rayons ne produisent pas les mêmes effets; comment, par exemple, les rayons violets et ultra-violets du spectre exercent sur les papiers photographiques une action que sont loin d'avoir les rayons rouges.

On peut également concevoir comment les ondulations de l'éther agissent sur les molécules matérielles pour les décomposer, en certains cas, en atomes libres ou groupés d'une autre façon. On conçoit que les vibrations transmises au groupement qui constitue la molécule, impriment, pour certaines valeurs des vitesses, un mouvement de totalité, et, dans d'autres cas, communiquent des mouvements différents aux atomes; c'est ainsi, pour employer une comparaison de Tyndall, qu'un homme debout sur le pont d'un bateau y restera sans danger tant que le vent et les vagues agiront régulièrement, tandis que, si une lame vient brusquement balayer le pont, elle entraînera l'homme qui cède à l'impulsion plus vite que le bateau; dans le premier cas, la *combinaison* résistait aux actions étrangères; dans le second, il y a eu séparation d'un des éléments du système, l'homme qui représente l'atome s'est séparé de la combinaison qui représentait le bateau et son passager; il y a eu *décomposition* sous l'influence de ces mêmes causes étrangères agissant dans d'autres conditions. C'est encore pour une raison analogue que l'on peut, à l'aide de secousses périodiques, séparer mécaniquement des corps divers mélangés, comme on le voit dans le vannage, dans le lavage de certains minéraux, etc.

L'explication que nous avons indiquée satisfait bien aux principaux faits que nous avons signalés : la décomposition de certains corps sous l'influence de rayons lumineux spéciaux, l'instant qui s'écoule avant l'apparition du nuage qui donne la preuve de la décomposition, car, dans ces communications de mouvement, ce n'est que par la répétition de chocs très-petits, que l'action se produit.

Il est un principe incontestable et que de nombreux faits de tout ordre viennent prouver chaque jour : c'est que le résultat de l'action d'un mouvement vibratoire est de détruire en totalité ou en partie ce mouvement en même temps qu'il produit un effet d'une autre nature. C'est de cette manière que l'on explique les phénomènes de renversement des raies dans les spectres.

Il suit de là qu'un faisceau lumineux qui a traversé une masse de gaz dans laquelle il a provoqué des décompositions chimiques devient incapable de produire le même effet sur de nouvelles quantités du même gaz, malgré qu'il ait conservé ses propriétés lumineuses ; les rayons particuliers dont le mode de vibration

était susceptible d'agir chimiquement ont disparu dans le faisceau sans que notre œil puisse s'en apercevoir, puisqu'ils sont obscurs, comme nous l'avons dit. L'expérience a confirmé cette prévision; en donnant au faisceau de lumière une convergence convenable et produisant la réunion des rayons au milieu du tube à expérience, le nuage ne se forme et ne devient lumineux que dans la première partie du tube, où s'épuise entièrement l'action chimique; le faisceau traverse cependant le tube dans toute sa longueur, mais n'y provoquant la formation d'aucune partie solide ni liquide, il ne renvoie pas de lumière diffuse. Si l'on retourne ce tube bout pour bout, le nuage apparaît dans la partie directement exposée à la lumière, et le tube devient lumineux dans toute sa longueur, car il contient partout un même nuage, du moins pour un certain degré de convergence des rayons. Pour une longueur plus considérable du tube, on pourrait avoir les deux extrémités éclairés et le milieu obscur.

Tyndall, en complétant les expériences précédentes, a été conduit à une conclusion qui pourra avoir une grande importance pour une théorie moléculaire complète, quoique, jusqu'à présent, on ne puisse en indiquer aucun résultat: c'est sur les atomes des corps et non sur les molécules qu'agissent les rayons lumineux. En effet, le tube à expériences étant, comme précédemment, rempli d'un mélange d'air et de vapeur, de nitrite d'amyle, par exemple, on plaçait à l'extrémité du tube qui recevait la lumière une auge transparente contenant une certaine quantité de nitrite d'amyle liquide que le faisceau devait traverser avant de pénétrer dans le tube. Dans ces conditions, le tube restait entièrement obscur, car aucune décomposition chimique ne s'y était produite; l'action devient manifeste au contraire presque aussitôt que l'auge est enlevée et que la lumière arrivant directement dans le tube agit sans intermédiaire sur la vapeur. En un mot, dans cette expérience, le liquide empêche la décomposition de la vapeur, comme dans les expériences précédentes le faisaient les premières couches de vapeur; le liquide absorbe les mêmes rayons ou plutôt éteint les mêmes vibrations que la vapeur. Ainsi les mouvements vibratoires des particules matérielles qui agissent sur les rayons lumineux sont les mêmes pour un corps sous l'un et l'autre état; or la vitesse de vibration des molécules doit dépendre de leurs distances réciproques

et des conditions diverses qui établissent précisément la distinction entre les liquides et les vapeurs : ce ne peut donc pas être à l'action des molécules qu'est due l'extinction des ondulations capables d'agir chimiquement, car ce serait à des rayons différents et non précisément aux mêmes que s'adresserait l'action d'absorption de ces corps. Par suite, c'est aux atomes qu'il faut reporter cette action en vertu de laquelle le faisceau lumineux cesse de pouvoir agir chimiquement sur les corps de même nature.

Il y a dans cette conclusion le résultat d'une induction très-légitime, ainsi qu'on peut le voir ; il importe de remarquer que l'on arrive directement à l'énoncé du même fait comme conséquence de la manière dont l'hypothèse explique la décomposition des corps composés sous l'influence des vibrations de l'éther ; car, si les molécules et non les atomes recevaient communication de ces mouvements, il n'y aurait aucune raison pour qu'elles se séparassent en leurs éléments. Cette concordance de résultats obtenus en partant de points de départ différents mérite d'être signalée.

III

Nous connaissons actuellement les conditions dans lesquelles Tyndall a étudié les phénomènes de coloration qui lui ont permis d'expliquer la couleur bleue du ciel, et nous allons indiquer les difficultés de la question et les résultats qui paraissent désormais acquis. La question est moins simple qu'elle ne paraît au premier abord, et l'étude optique de la voûte céleste conduit à des observations qui s'accordent mal avec les propriétés attribuées aux lumières réfléchie et réfractée.

D'abord, pourquoi la calotte sphérique que nous distinguons au-dessus de l'horizon est-elle partout lumineuse? Le soleil est placé en dehors des limites de l'atmosphère ; les rayons qu'il envoie en tous les points du globe devraient donner aux observateurs la notion de son existence ; mais si l'atmosphère était un gaz parfait, ainsi que nous l'avons dit, on ne pourrait distinguer le trajet de ces rayons, s'il n'arrivait directement à l'œil ; pour chacun de nous le soleil semblerait une ouverture lumineuse faite dans une surface entièrement obscure (abstraction faite des étoiles

qui, dans ce cas, et même en plein jour, sembleraient également des points lumineux) ; non-seulement l'atmosphère ne nous paraîtrait pas bleue, mais rien, pour notre œil, ne décélerait son existence. Si, dans une chambre obscure, on fait arriver un rayon lumineux au travers d'un vase en verre contenant de l'eau distillée, un observateur se trouvant sur le trajet du rayon verra l'ouverture par laquelle il s'introduit, mais ne saura rien sur l'existence du milieu transparent interposé, ainsi que nous l'avons déjà signalé pour des conditions à peu près analogues. Ce n'est donc que par suite de la réflexion de la lumière sur des particules solides ou liquides que peut nous apparaître la voûte bleue du ciel.

La lumière, par la réflexion, se polarisant toujours en totalité ou en partie, la lumière bleue du ciel doit être polarisée; c'est, en effet, ce que prouve l'expérience. Si l'on dirige vers le ciel un analyseur, on reconnaît que la lumière que l'on reçoit présente des variations d'intensité, lorsque l'on fait tourner le prisme de Nicol dans son plan ; c'est là, nous l'avons dit, un signe caractéristique de la polarisation, et, à cet égard, l'expérience donne raison aux conséquences que nous avons indiquées ; c'est à la réflexion sur des particules solides ou liquides que sont dus les phénomènes de coloration dont nous nous occupons.

Est-ce donc à dire que nous sommes en présence d'un phénomène en tout analogue à celui en vertu duquel tous les corps nous paraissent colorés? est-ce simplement parce que ces particules absorbent tous les rayons, sauf les bleus qu'elles renvoient, que la voûte céleste nous présente cette coloration particulière? Au premier abord, cette solution semble fort admissible; mais une étude plus approfondie des conditions dans lesquelles se manifeste la polarisation de la lumière montre qu'il faut la rejeter ou qu'il faut admettre que la réflexion donne naissance, dans ce cas, à des effets que l'on n'observe jamais dans les expériences variées faites sur les diverses parties de l'optique. C'est ce qui résulte des observations suivantes. Nous avons dit que la lumière que nous envoie le ciel bleu et qui ne présente aucun caractère particulier pour notre œil est cependant polarisée ainsi que le montre l'observation à l'aide d'un prisme de Nicol, par exemple. Mais l'emploi de cet analyseur nous apprend encore que la lumière n'est pas polarisée partout également, qu'elle l'est partiellement, lorsqu'on regarde dans certaines directions, et totalement

dans d'autres. On reconnaît que la polarisation est totale, lorsque l'analyseur ne laisse passer aucun rayon et que le ciel, vu par transparence, paraît obscur ; sans que l'on arrive généralement à ce signe caractéristique d'une polarisation totale, on distingue fort nettement une direction pour laquelle l'extinction est la plus considérable, et par suite la polarisation *maxima*. Le phénomène est également fort net par l'emploi de la lame de sélénite qui, pour la même direction, donne les anneaux les plus brillants. Or toutes les observations, souvent répétées, ont montré que l'on obtient ainsi le maximum de polarisation en regardant perpendiculairement aux rayons du soleil, c'est-à-dire quand les rayons incidents venant du soleil sont à angle droit avec les rayons réfléchis allant à notre œil. Nous devons conclure de la valeur de cet angle que le rayon incident fait, avec la normale à la surface réfléchissante, un angle de 45° dont la tangente trigonométrique est égale à l'unité ; d'après la loi de Brewster sur l'angle de polarisation, loi que nous avons rappelée, l'indice de réfraction du milieu sur lequel devrait avoir lieu la réflexion est donc égal à 1, c'est-à-dire que le rayon réfracté est sur le prolongement du rayon incident ; ainsi, ce milieu sur lequel devrait avoir lieu la réflexion possède le même degré de réfringence que l'air lui-même et ne peut par suite présenter avec celui-ci aucune différence optique, ni enfin non plus donner naissance à aucun phénomène de réflexion. La difficulté est grande, on le voit : d'une part, nous arrivons à conclure que la lumière bleue du ciel doit être réfléchie, d'autre part nous sommes forcés d'admettre que la réflexion ne peut avoir lieu faute d'un milieu susceptible de produire cet effet ; il y a là une contradiction bien indiquée par Brewster, John Herschell et d'autres ; jusqu'à présent on ne pouvait accorder ces deux conclusions contraires. Les expériences de Tyndall permettent précisément d'avoir une idée nette de la question et de décider laquelle des deux conséquences on doit rejeter.

Dans la formation de nuages lumineux obtenus dans un tube rempli de certains gaz ou vapeurs sous l'influence d'une source convenable de lumière, Tyndall a reconnu que la première coloration qui se montrait est bleue et souvent d'un bleu aussi magnifique que les plus beaux cieux des contrées méridionales ; cette coloration varie bientôt à mesure que le nuage s'épaissit et doit correspondre aux particules les plus déliées qui se produisent

d'abord pour disparaître lorsque leurs dimensions augmentent, si bien qu'après un temps variable le nuage est devenu blanc. Cette coloration bleue est pour l'œil entièrement semblable à celle de la voûte céleste. L'analogie allait-elle plus loin ou se bornait-elle à l'apparence? Pour le savoir, Tyndall emploie l'analyseur qui sert à l'étude de la lumière polarisée; il reconnut que la lumière diffusée par le nuage présente, comme on pouvait s'y attendre, des traces de polarisation dont l'intensité varie suivant la direction suivant laquelle on regarde. En cherchant la ligne qui correspond à la polarisation maxima, on reconnaît qu'elle est perpendiculaire à la direction des rayons incidents qui éclairent le nuage ; il y a donc la plus complète analogie entre la lumière diffusée par les nuages que précipitent chimiquement certains rayons et la coloration bleue du ciel même.

Nous n'avons pas voulu aborder la question dans toute sa complexité, afin d'être clair et facilement compréhensible ; mais nous pouvons actuellement indiquer quelques-uns des autres résultats qui donnent encore plus de poids à la conclusion précédente. L'étude du ciel faite au point de vue de la polarisation de la lumière, montre qu'il existe divers points pour lesquels la polarisation est nulle, ce sont les *points neutres* qui séparent l'espace éclairé en deux zones pour lesquelles les plans de polarisation sont rectangulaires. En regardant les nuages obtenus dans les expériences déjà citées, sous des incidences variées, Tyndall a pu reconnaître l'existence de semblables points neutres.

D'autre part, en éclairant ces mêmes nuages par de la lumière polarisée dans un plan convenable et regardant sous une incidence normale, on observe certaines directions pour lesquelles la lumière n'est nullement réfléchie, tandis qu'elle est totalement renvoyée dans une direction perpendiculaire à celle-ci; nous devons donc conclure de là que c'est bien réellement par la réflexion que les divers phénomènes que nous avons indiqués prennent naissance.

Dans une seconde série d'expérience, Tyndall étudia les effets analogues produits par la lumière sur des atmosphères artificielles chargées de diverses fumées ou nuages : fumée d'encens, de tabac, de résine, de poudre à canon, etc. Il trouva dans chaque cas un point neutre, un point de polarisation maxima, et, pour des densités convenables de la fumée employée, le maximum de

polarisation se produisit toujours pour une direction perpendiculaire à celle des rayons lumineux. Enfin, les mêmes expériences furent répétées sur l'air du laboratoire à son état normal, air qui contient toujours une notable proportion de poussière et de fumée, et les résultats furent les mêmes que ceux que nous avons signalés. D'autre part, lorsque l'on tamisait l'air dans lequel on projetait un faisceau lumineux de manière qu'il ne contînt point ces particules flottantes, il était sans aucune action sur la lumière et se comportait comme le vide.

En nous résumant, nous voyons que les expériences de Tyndall conduisent à confirmer l'opinion déjà ancienne qui attribue la coloration bleue du ciel à la réflexion des rayons solaires sur des particules très-fines qui flottent dans notre atmosphère ; on pourrait même ajouter que c'est à la même cause que l'on doit rapporter un certain nombre de colorations bleues. Tyndall cite en effet un morceau de verre qui, par réflexion donnait la même couleur due à l'action de particules hétérogènes interposées. Nous devons indiquer, d'autre part, un mémoire de M. J.-L. Soret[1], qui tend à démontrer que la teinte bleue de l'eau est produite au moins partiellement par des particules solides en suspension. Les expériences qu'il cite à l'appui ont été faites sur le lac de Genève et avaient spécialement pour but de démontrer que la lumière diffusée par l'eau est polarisée et que le maximum de polarisation correspond au cas où l'on regarde perpendiculairement à la direction des rayons lumineux.

Mais, quelque important que soit ce premier résultat, les expériences de Tyndall conduisent à d'autres conclusions sur lesquelles il est bon d'appeler l'attention : la coloration uniforme du ciel semblerait indiquer que la réflexion des rayons solaires a lieu partout sur une même matière; nous avons signalé, d'autre part, comment la valeur trouvée pour l'angle de polarisation maxima semblait exclure l'idée de la réflexion. Il résulte des principales expériences de Tyndall que nous avons signalées que la réflexion de la lumière sur des particules de dimensions excessivement petites se fait dans des conditions toutes spéciales, que, par exemple, l'angle de polarisation est indistinctement de 45°, quelle que soit la nature des particules, et que la position du point de polari-

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXVIII.

sation maxima dans le ciel n'est point une preuve s'opposant à ce que la lumière que nous en recevons soit réfléchie, mais démontrant seulement que la réflexion a lieu sur des parties de très-petites dimensions.

Nous sommes donc en présence d'une exception remarquable à la loi de Brewster, loi trouvée par l'expérience et expliquée plus tard par la théorie ; celle-ci a maintenant à nous rendre compte des faits observés par Tyndall. Nous avons pleine confiance et nous sommes persuadés que, eu égard aux conditions particulières exigées pour la réussite des expériences, il y aura à introduire dans les raisonnements et les calculs des restrictions qui permettront à l'hypothèse des ondulations de sortir victorieuse de cette nouvelle épreuve.

C.-M. Gariel.

II

NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

Œuvres de Verdet[1]. — Tome III, *Cours de physique de l'École polytechnique*. — Tome V, *Optique physique*.

La publication des œuvres de Verdet, qui a été annoncée dans l'*Annuaire* précédent, se continue avec régularité, et deux volumes sont venus s'ajouter à ceux qui avaient paru en 1868 : le tome III qui forme la seconde partie du *Cours de l'École polytechnique* et le tome V qui constitue le premier volume de l'*Optique physique*. Nous n'avons rien à ajouter à ce qui a été dit sur le soin, nous dirions presque le luxe, avec lequel cette édition est faite, mais nous croyons qu'il est bon d'indiquer l'intérêt qui s'attache aux questions traitées dans les volumes qui viennent d'être publiés.

Le cours de physique professé à l'École polytechnique est actuellement complet et comprend les principales questions qui ont trait à la chaleur, l'électricité, l'acoustique et l'optique. Mais

[1] Victor Masson et fils.

il ne faut pas croire que cet ouvrage constitue un livre dans lequel on puisse apprendre la physique; c'est plutôt un programme très-développé des questions traitées à l'École polytechnique par Verdet et destiné aux personnes qui veulent repasser ces questions; dans ces limites, cet ouvrage est très-bon et mérite d'être signalé: chaque partie est bien traitée, les démonstrations sont claires et rigoureuses et l'on ne se perd pas dans la description de détails infimes d'instruments; mais, il manque, spécialement pour l'optique, une idée générale, les faits se suivent sans être bien reliés et sans qu'on puisse se rendre compte de la marche que l'on suit. Il manque la vie que le professeur donnait à la leçon parlée, et qu'il ne cherchait point à répandre dans les notes qu'il rédigeait; mais, nous le répétons, malgré ces restrictions le cours de physique de l'École polytechnique est un ouvrage utile.

Le premier volume des *Leçons d'optique physique*, qui est publié par M. Levistal, présente un plus grand intérêt : ces leçons s'adressent à un public plus restreint, et exigent des connaissances assez étendues en physique générale et en mathématiques; outre que les questions contenues dans ce volume sont parfaitement distribuées et complétement traitées (sur la théorie des phénomènes optiques considérés indépendamment de la forme et de l'orientation des vibrations lumineuses; sur la constitution des vibrations lumineuses; sur la théorie de la double réfraction) de telle sorte que chaque partie forme un ensemble complet, on y trouve des discussions remarquables sur certains points qui présentent des difficultés particulières, que Verdet excellait à rendre compréhensibles et dont il tirait les conclusions avec élégance. Les leçons d'optique physique ont été rédigées non pas sur des notes sommaires comme celles que Verdet faisait pour l'École polytechnique, mais sur la rédaction des leçons faites à diverses époques, recueillies avec soin et le plus complétement possible par ses élèves, et dans lesquelles ceux-ci s'efforçaient de prendre non-seulement les calculs, mais encore les idées de leur maître : cette différence explique comment les deux volumes que nous signalons aujourd'hui présentent des caractères aussi divers.

Les leçons d'optique physique seront d'une incontestable utilité pour les personnes qui voudront connaître complétement les questions qui y sont traitées : on a joint à chacun des chapitres une liste des auteurs et des ouvrages que l'on doit consulter et

c'est là une addition utile et que malheureusement l'on ne rencontre pas fréquemment, même dans les ouvrages les plus complets.

Les œuvres de Verdet sont publiées par les soins de ses élèves, comme on l'a dit ; mais tous n'auront pu conduire jusqu'à la fin le travail qu'ils avaient entrepris ; qu'il nous soit permis d'adresser ici un dernier adieu à l'un d'eux, à notre camarade de collége, notre ami, Prudhon, qui s'était chargé de la rédaction d'une partie de la théorie mécanique de la chaleur. Prudhon est mort cette année à Marseille, où il avait été appelé à professer ; une maladie rapide l'a emporté sans lui laisser le temps de terminer quelques travaux qu'il avait entrepris ; jeune encore, fort occupé par les cours qu'il avait à faire, il n'a pas pu pleinement justifier les espérances qu'avaient donné à tous ceux qui l'ont connu, l'élévation de son esprit, son ardeur au travail, son amour de la science.

Mémoire sur la conservation de la force, par M. Helmholtz. Traduit par M. L. Pérard [1].

Ce mémoire de M. Helmholtz sur la conservation de la force est, sans contredit, un des principaux travaux de ce savant dont nous avons entretenu déjà nos lecteurs. Si l'on se reporte à l'époque de la publication de ce mémoire (1847) et que l'on en étudie les conclusions, on ne peut que reconnaître une supériorité incontestable à l'esprit qui, alors que le principe de l'équivalent du travail mécanique et de la chaleur était à peine une vérité universellement reconnue, eut la puissance d'en déduire des conséquences remarquables à tous égards et dont aucune n'a été modifiée par le développement successif de la théorie ou par les résultats des expériences.

Dans ce mémoire, M. Helmholtz prend pour point de départ l'impossibilité de créer quelque chose avec rien, ou d'accumuler indéfiniment du travail par les effets d'une combinaison quelconque de corps. Cette idée ne peut être repoussée aujourd'hui et est absolument admise. M. Helmholtz en déduit cette conclusion remarquable, que toutes les forces naturelles doivent être dirigées suivant les droites qui joignent deux à deux les divers points

[1] 1 vol. Victor Masson et fils.

matériels réagissant et n'être fonction que de la distance ; cette démonstration est peut-être, de l'avis de Verdet, la meilleure que l'on puisse donner. Se plaçant à un autre point de vue, M. Helmholtz montre que cette loi est un principe admissible au même titre que le précédent.

Nous ne pouvons suivre l'auteur dans les applications auxquelles le conduit son point de départ, applications relatives à la mécanique et à la physique, et qui, nous le répétons, sont des jalons qui marquent le chemin dans lequel on peut s'engager en toute sécurité et dont il faut se garder de s'éloigner, si l'on ne veut s'égarer dans l'une ou l'autre de ces sciences. Le mémoire sur la conservation de la force, souvent cité, n'était cependant pas connu comme il le mérite, et l'on doit des remercîments au traducteur, M. L. Pérard, qui vient de le publier. Il a joint à ce mémoire une conférence faite également par M. Helmholtz sur la transformation des forces naturelles. C'est un exposé très-net et très-intéressant de la question ; mais actuellement, les idées qui y sont contenues sont fort répandues et nous pensons que les lecteurs de l'*Annuaire* sont familiarisés avec ces notions sur lesquelles il est moins nécessaire d'appeler leur attention que sur le mémoire principal dont nous venons de parler.

C. M. G.

CHIMIE

I

LES CORPS EXPLOSIFS.

Au mois de février dernier une terrible explosion de picrate de potasse mit en émoi toute la population du quartier de la Sorbonne et coûta la vie à plusieurs personnes. L'année précédente, sur les frontières de Belgique, neuf ouvriers et un enfant placés dans le voisinage d'une voiture chargée de nitroglycérine furent tués ; en 1848, quatre ouvriers employés à la poudrerie du Bouchet périrent à la suite d'une explosion de coton-poudre.

Quelles sont donc ces terribles matières qui recèlent dans leur flanc une force indomptable? Pourquoi les préparer? A quels emplois sont-elles destinées? Telles sont les questions qui se pressent sur les lèvres à propos des matières explosibles, et nous voulons y répondre. Nous hésitons d'autant moins à aborder ce sujet qu'il n'a pas seulement pour nous un intérêt de curiosité, mais qu'il touche encore à une importante question de chimie théorique.

Habituellement la combinaison est accompagnée d'un dégagement de chaleur ; les exemples abondent : les combinaisons du charbon, du soufre, du phosphore avec l'oxygène dégagent de la chaleur, celles du chlore et de l'hydrogène ou de l'acide sulfurique et de la baryte en dégagent encore; mais inversement la décomposition est l'origine d'une absorption de chaleur. On conçoit sans peine, en effet, que la séparation de deux corps intimemen

unis, nécessite un certain travail qui provient de la transformation d'une quantité de chaleur équivalente. Or les corps explosifs dont nous voulons parler se décomposent avec dégagement de chaleur ; il y a donc là une anomalie qui mérite d'attirer l'attention ; les travaux récents de MM. Berthelot, H. Sainte-Claire Deville et Hautefeuille, ont, au reste, singulièrement éclairci la question délicate que nous voulons exposer.

I

Principaux corps détonants. — Poudre à canon. — Iodure et chlorure d'azote. — Coton-poudre. — Nitroglycérine. — Dynamite. — Lithofracteur. — Picrates. — Conditions de leur explosion. — Travaux de MM. Nobel et Abel.

Pendant bien des années, la seule matière explosive connue fut le mélange de salpêtre, de soufre et de charbon, qui est encore universellement employé aujourd'hui sous le nom de poudre à canon; mais, au commencement de ce siècle, plusieurs autres matières explosives furent découvertes ; on reconnut que le chlorate de potasse peut détoner facilement sous l'influence de l'acide sulfurique. Dulong, en 1812, obtint le chlorure d'azote. Un peu plus tard, Courtois prépara l'iodure d'azote qui, l'un et l'autre, détonent sous l'influence d'une faible élévation de température ou même sous celle d'un choc léger ; mais aucune de ces découvertes n'eut autant de retentissement que celle du coton-poudre. On sait que Schœnbein[1] indiqua, en 1846, qu'en traitant du coton par de l'acide azotique concentré on pouvait le métamorphoser en une matière éminemment explosible sans que son aspect fût changé. Bien que la combustion du coton-poudre soit constamment répétée dans les cours, ce n'est jamais sans étonnement qu'on voit une matière ayant toutes les apparences du coton ordinaire prendre feu subitement à l'approche d'une allumette et disparaître instantanément sans laisser de résidu.

La force explosive du coton-poudre est considérable, et dès que sa préparation fut connue, on s'occupa activement de rechercher

[1] Voyez un très-bon résumé historique de la découverte du coton poudre dans le *Mémorial de l'artillerie*. 1852, p. 93. — Voyez, dans l'*Annuaire de* 1869, une notice sur Schœnbein.

s'il pouvait être employé dans les armes et dans les mines pour remplacer la poudre. Une commission, dont M. le général Morin, alors colonel, fut le rapporteur, étudia avec le plus grand soin la préparation et l'emploi du coton-poudre, mais on constata bientôt que, pendant sa préparation, le coton-poudre pouvait donner naissance à de terribles explosions. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, le 17 juillet 1848, à la poudrerie du Bouchet, 1,600 kilos de coton-poudre firent explosion, quatre personnes furent tuées, trois blessées, l'atelier où eut lieu l'explosion fut entièrement détruit, et on trouva dans le prolongement sud-ouest du grand axe du bâtiment, et jusqu'à 300 mètres environ, une ligne de matériaux classés par ordre de densité, les bois le plus près, puis les pierres et enfin les débris de fer le plus loin.

Ce terrible accident n'était pas de nature cependant à faire abandonner la fabrication du coton-poudre, mais bientôt on reconnut encore qu'il était extrêmement brisant et que les armes chargées de coton-poudre éclataient souvent. Un fusil d'infanterie peut tirer de vingt-cinq à trente mille coups lorsqu'on le charge avec la poudre ordinaire ; avec le pyroxile, il est hors de service après quatre et cinq cents coups ; les pièces de canon en fonte chargées de coton-poudre ont souvent fait explosion : celles de bronze ont été détériorées. Tous ces inconvénients décidèrent l'artillerie à repousser l'emploi du coton-poudre dans les armes.

La nouvelle matière ne donna pas non plus des résultats satisfaisants quand on voulut l'employer pour charger des obus, qui souvent éclataient avant d'arriver à la distance voulue et quelquefois même dans l'âme de la pièce.

On constata à cette même époque que, dans les mines, le coton-poudre donne à égalité de poids un effet supérieur à celui qu'on obtient de la poudre, mais son prix plus élevé le fit bientôt abandonner. Pendant quelques années cet abandon parut définitif, d'autant plus que de fréquentes explosions spontanées s'étant produites, des altérations profondes de la matière ayant eu lieu, on crut qu'il était absolument impossible de conserver des approvisionnements importants. On s'occupait donc moins du coton-poudre quand, il y a quelques années (1864), un général autrichien, M. Lenck, réclama énergiquement contre cette proscription absolue du coton-poudre ; préparé convenablement, soumis à des lavages alcalins, celui-ci, d'après M. Lenck, pourrait être

conservé sans danger. En 1865, M. Melsens confirma ces résultats et montra par des exemples frappants l'importance d'une préparation soignée. Plus récemment, enfin, M. Abel, professeur à Woolwich, à qui on doit des travaux intéressants sur les poudres que nous analysons plus loin, émit l'opinion que la principale cause d'altération du pyroxile provenait des impuretés du coton employé à la fabrication. Cette idée avait été émise déjà par M. Payen, et il paraîtrait que les matières étrangères à la cellulose contenues dans le coton donnent, par leur combinaison avec l'acide azotique, des produits très-altérables qui abandonnent facilement leur acide; celui-ci réagit alors sur le coton-poudre lui-même et détermine enfin son altération. D'après M. Abel, on éviterait ces inconvénients en introduisant 1 pour 100 de carbonate de soude dans le produit ; on neutraliserait ainsi l'acide nitrique au moment même où il serait mis en liberté et on donnerait au coton-poudre une stabilité suffisante pour qu'il puisse être conservé, même dans les pays tropicaux, sans chances d'explosions. On remarquera cependant que, dans le procédé de fabrication suivi à la poudrerie du Bouchet, on lavait le coton-poudre avec une dissolution alcaline, ce qui n'a pas empêché qu'on ait eu à déplorer de terribles accidents.

En admettant même que les dangers d'explosions spontanées soient écartés par les précautions indiquées par M. Abel, l'emploi du coton-poudre dans les armes n'en restera pas moins très-difficile à cause des propriétés brisantes qui ont été reconnues au moment des expériences faites par le comité d'artillerie de 1847 à 1852.

Le coton-poudre devrait donc surtout être employé dans les mines où ses qualités brisantes sont précieuses ; mais ici se dresse immédiatement la question du prix de revient qui avait fait écarter le pyroxile au moment de sa découverte. On estime que le coton-poudre atteint six fois le prix de la poudre de mine ; ses effets sont-ils six fois plus énergiques? M. Abel l'affirme ; mais les ingénieurs qui s'étaient joints à l'artillerie, lors des études qui furent faites en France, il y a une dizaine d'années, étaient d'avis que « le pyroxile paraissait être resté au-dessous de ces limites dans les cas où il avait agi le plus avantageusement. »

La cellulose n'est pas la seule matière organique capable de fixer de l'acide azotique et de fournir une matière explosible:

Nous avons déjà entretenu le lecteur de la nitroglycérine, et nous avons décrit les effets terribles qu'elle produit. Un ingénieur suédois, M. Nobel, qui a préparé le premier la nitroglycérine et qui continue de l'étudier malgré les dangers qui accompagnent cette étude, malgré les explosions qui se sont produites dans son usine et dont un de ses fils a été victime, M. Nobel, disons-nous, s'est efforcé de produire une poudre renfermant de la nitroglycérine, mais d'un maniement moins dangereux que ce liquide pur. La dynamite, qui a été analysée au laboratoire du comité d'artillerie par le commandant Caron, est un mélange de 67 parties de nitroglycérine et de 33 de terre argileuse, qui communique à toute la masse une teinte rouge.

Les effets de la dynamite sont d'une rare puissance ; des rochers de grande dimension ont été profondément fendus quand on les a minés avec la nouvelle poudre ; employée dans les carrières ou dans les mines, elle paraît avoir une supériorité marquée sur la poudre ordinaire ; elle n'est même pas aussi dangereuse qu'elle, car elle ne détone pas quand elle est chauffée. En plongeant dans un paquet de dynamite un fer rouge, on voit la poudre brûler lentement sans explosion ; elle ne détone pas non plus par le choc ; dans les épreuves auxquelles elle a été soumise en Suède, on a pu faire rouler un wagon sur des rails où l'on avait placé des cartouches de dynamite sans obtenir d'explosion. Il faut, pour la faire détoner, le contact d'une poudre fulminante.

La dynamite, une fois préparée, n'est donc pas une matière dangereuse, mais, pour l'obtenir, il faut commencer par fabriquer la nitroglycérine, et ici le danger est très-grand. M. Nobel a, il est vrai, offert au gouvernement français d'établir lui-même une fabrique de nitroglycérine en France, mais nous ne croyons pas que jusqu'à présent ses propositions aient été acceptées.

Le lithofracteur est un mélange dont la partie active est encore la nitroglycérine ; il se présente sous forme de petites masses noirâtres, détone isolément au contact d'une poudre fulminante, mais ne fait explosion ni par le choc ni par l'action du feu.

On sait qu'il existe dans le goudron de houille une matière cristallisée, l'acide phénique, dont les emplois thérapeutiques ont été très-vantés dans ces dernières années ; en traitant l'acide phénique par l'acide azotique, on obtient une matière très-amère, l'acide picrique (πικρὸς, amer), qui fut employé dès 1847 pour

donner à la soie une magnifique coloration jaune. Depuis, les prix de l'acide phénique ayant baissé, il fut possible de fabriquer l'acide picrique à un prix assez modéré pour en faire un des éléments d'une poudre très-énergique. Les picrates sont en effet détonants, et ils ont acquis cette année une triste célébrité.

On a fabriqué régulièrement au Bouchet, pendant quelque temps, une poudre formée de picrate et d'azotate de potasse ; le mélange des deux matières humides pouvait être battu au pilon comme la poudre ordinaire ; on assure que la nouvelle matière ne fait explosion que vers 300°, et que, par conséquent, elle peut être travaillée assez facilement.

On prépare, au reste, plusieurs poudres différentes suivant le but qu'on se propose d'atteindre. S'il s'agit de charger des mines ou des torpilles, on emploiera seulement un mélange de picrate et d'azotate de potasse, qui brûle avec explosion, mais sans produire la masse de fumée qui, si souvent, gêne les mineurs ; ne se produit-il pas cependant pendant cette déflagration une certaine quantité de vapeurs nitreuses très-dangereuses à respirer? C'est ce qui ne paraît pas complétement démontré.

En mélangeant aux deux matières précédentes du charbon, on obtient une poudre plus lente, moins brisante et qui pourrait être utilisée dans les armes ; cette poudre donne moins de fumée que la poudre ordinaire, et le but redevient visible pour le tireur beaucoup plus rapidement. Les avantages de cette poudre n'ont pas cependant paru être suffisants pour qu'elle fût adoptée par l'artillerie, qui a fait détruire les échantillons préparés au Bouchet au moment des essais.

De toutes ces matières explosibles nouvelles, la dynamite est peut-être celle qui présente le plus de chances de succès, mais on conçoit facilement qu'avant d'adopter une poudre nouvelle, il faille être bien convaincu des avantages qu'elle présente, car un pareil changement ne pourrait s'accomplir sans de très-lourdes dépenses. C'est à l'industrie de montrer le chemin ; s'il était reconnu qu'il y a pour l'exploitation des carrières et des mines de très-grands avantages, il est vraisemblable que l'administration française leverait l'interdiction prudente dont elle a frappé l'emploi de la nitroglycérine.

Les conditions dans lesquelles se produit la décomposition d'un corps explosif sont très-variées : quelques-uns détonent par la

chaleur, d'autres par le choc, d'autres par le contact d'une matière déterminée; enfin, dans quelques cas, l'explosion n'est provoquée que par une explosion voisine. L'exemple le plus curieux qu'on en puisse citer est celui qui est dû à M. Nobel, qui a montré que, pour faire détoner la dynamite, il fallait l'amorcer avec une capsule de fulminate de mercure, auquel une mèche de poudre ordinaire mettait le feu.

Depuis, M. Abel a singulièrement étendu cette première notion, et le Mémoire qu'il a publié sur ce sujet[1] renferme les faits les plus curieux et les plus inattendus.

La détonation du coton-poudre a lieu dans des circonstances tout à fait différentes, suivant que le produit est en laine ou qu'il est comprimé; en laine il détone très-bien à 135° centigrades, mais lorsqu'il est comprimé par l'effort de la presse hydraulique, cette même température ne détermine plus qu'une combustion lente, lorsque le coton-poudre est exposé à l'air; s'il est enfermé dans une enveloppe résistante, cette même température de 135° le fait au contraire détoner avec explosion; celle-ci devient très-violente et elle est accompagnée d'effets destructeurs analogues à ceux que produit la nitroglycérine, si le feu est mis au moyen d'une charge de poudre détonante; il est même nécessaire, dans ce cas, que la poudre-coton soit comprimée, car si elle était en laine, elle serait dispersée par la détonation de la matière fulminante et ne brûlerait pas, ou au moins ne brûlerait que très-incomplétement. Toutes les poudres fulminantes ne sont pas, au reste, également efficaces pour déterminer la combustion du coton-poudre, car il résiste à la détonation de l'iodure d'azote, qui est, de toutes les matières explosibles connues, l'une des plus sensibles et l'une des plus violentes dans ses effets. On a placé avec précaution des disques d'iodure d'azote parfaitement desséchés, reposant sur des feuilles de papier ou de carton très-minces, sur du coton-poudre comprimé; on a mis le feu en touchant l'iodure d'azote avec une longue baguette, l'explosion désagrégeait plus ou moins le pyroxyle, en lançait les fragments à quelque distance, mais ne le faisait pas détoner.

En employant le chlorure d'azote, on ne réussit pas mieux. « On plaça d'abord sur un verre de montre 0gr,65 de chlorure, que

[1] *Comptes rendus*, 1869, t. LXIX, p. 105.

l'on recouvrit d'une couche d'eau très-mince, » précaution importante, car M. Abel a reconnu que la détonation du chlorure d'azote est bien plus intense sous l'eau qu'à l'air libre. « On fit détoner le chlorure au moyen d'une longue baguette mouillée de térébenthine ; le verre fut brisé en mille pièces, mais le coton-poudre ne subit qu'une désagrégation moléculaire de peu d'étendue. Un gramme de chlorure employé dans les mêmes conditions ne détermina point davantage l'explosion ; la désagrégation moléculaire fut seulement plus considérable ; 2 grammes ne furent pas encore suffisants pour déterminer la détonation du coton-poudre, mais elle eut lieu parfois sous l'influence de 3gr,5 de chlorure d'azote. »

Voilà donc deux corps considérés à juste titre comme très-détonants, qui doivent être employés à dose très-élevée pour déterminer l'explosion du coton-poudre ; la composition pour capsules, le mélange du chlorate et du picrate de potasse sont encore incapables de produire l'explosion du coton-poudre à l'air libre, et cependant, à l'aide de 0gr,324 de fulminate de mercure enfermé dans une feuille métallique et placé au contact du coton-poudre, la détonation se manifeste.

La nitroglycérine partage quelques-unes des propriétés du coton-poudre ; il est bien plus difficile de la faire détoner au contact d'un corps incandescent que lorsqu'on y met le feu à l'aide d'une petite charge de poudre.

Après avoir exposé les résultats de ses curieuses expériences, M. Abel ajoute : « On est naturellement conduit à rechercher si, dans la commotion, ou, si l'on veut, dans la vibration puissante que produisent certaines détonations, il n'y aurait pas quelque chose de particulier, quelque action spéciale distincte de la force mécanique produite par l'explosion et dont le rôle consisterait à provoquer dans un corps détonant, placé à proximité, une décomposition moléculaire instantanée qui est accompagnée du phénomène de l'explosion.

« ... Une explosion ou une détonation d'une certaine matière peut, en vertu d'une force particulière, provoquer, au moment où elle se produit, l'explosion également violente de masses distinctes de la même matière ou même d'autres matières explosives placées à proximité. Cette force est peut-être tout à fait indépendante de l'action directe de la force mécanique développée par l'explosion, dont elle ne serait que l'auxiliaire. Certaines vi-

brations musicales déterminent des vibrations synchrones dans quelques corps et sont sans action sur d'autres. On peut provoquer la décomposition chimique de substances en leur faisant intercepter certaines ondes lumineuses. Il paraît que certaines explosions sont, à leur tour, accompagnées de vibrations assez puissantes pour troubler l'équilibre chimique de quelques corps en déterminant instantanément leur désagrégation moléculaire, tandis que d'autres explosions, tout en développant une force mécanique au moins égale ou supérieure, ne produisent aucun résultat.

« La force mécanique que développe l'explosion de 2gr,23 de chlorure d'azote dépasse de beaucoup celle que fait naître la détonation de 0gr,32 d'un fulminate quelconque enfermé dans une enveloppe solide; et cependant il faut employer les deux matières aux doses que nous venons de rappeler pour produire sur le coton-poudre des actions équivalentes. Pour obtenir le résultat voulu avec le chlorure d'azote, il est donc nécessaire d'augmenter beaucoup sa force mécanique, attendu qu'avec lui cette force particulière que développe l'explosion du fulminate est beaucoup trop faible ou même fait complétement défaut.

« De même la nitroglycérine, dont l'explosion développe une force au moins égale à celle du fulminate détonant dans une enveloppe, est incapable de déterminer l'explosion du coton-poudre à dose soixante-cinq fois plus considérable même que la dose de fulminate d'argent ou de fulminate de mercure que produit à coup sûr la détonation. Ces faits ne semblent-ils pas démontrer qu'il existe une différence fondamentale dans le caractère des commotions, ou, si l'on veut, des vibrations produites par l'explosion des deux substances ? »

M. Abel termine ces considérations théoriques en émettant l'hypothèse suivante : « Une explosion donnée est toujours accompagnée de vibrations : s'il y a synchronisme entre ces vibrations et celle que produirait, en détonant, un corps placé à proximité, qui se trouve dans un haut état de tension chimique, il résulte de cette corrélation que, dans ce dernier corps, les vibrations ont une tendance naturelle à se produire. C'est là la cause qui détermine l'explosion, ou, si l'on veut, qui facilite, dans une certaine mesure, l'action perturbatrice et subite de la force mécanique. Si les vibrations, au contraire, sont d'un ca-

ractère différent, la force mécanique due à l'explosition du premier corps ne trouve dans le second qu'un auxiliaire faible ou inerte; on est obligé alors, pour provoquer l'explosion de ce dernier, d'employer le premier en proportions bien plus considérables, c'est-à-dire de s'assurer de prime abord une détonation beaucoup plus puissante. »

Ces interprétations trouveront certainement des contradicteurs, et l'introduction de forces spéciales dans la science, à mesure que se rencontrent des faits que nos connaissances ne peuvent expliquer aujourd'hui d'une façon convenable, est tout à fait contraire aux efforts qu'on tente de toutes parts pour réduire le nombre des agents qui exercent leur influence sur les corps graves; aussi nous n'adoptons la manière de voir de M. Abel que comme une interprétation provisoire à laquelle de nouvelles recherches substitueront dans la suite une théorie moins exigeante; mais si nous faisons des réserves sur l'interprétation des faits, nous ne pouvons manquer d'être très-frappés de leur étrangeté et des applications qui en découlent.

On apprend qu'il n'est pas indifférent dans la pratique de déterminer l'explosion d'un corps détonant à l'aide d'une matière ou d'une autre. Le coton-poudre, logé dans des trous de mine, produit bien plus d'effet lorsqu'il est enflammé au moyen de fusées détonantes que lorsqu'on y met le feu à l'aide de poudre ordinaire. On sait qu'une des opérations les plus dangereuses de l'art des mines est la fermeture hermétique des cavités renfermant la poudre; on munit, il est vrai, les mineurs de baguettes de cuivre. afin d'éviter la production d'étincelles qui jaillissent du fer choqué contre le silex; mais les mineurs emploient souvent, malgré la défense qui leur en est faite, les outils de fer, et les accidents dus à l'inflammation de la poudre pendant le bourrage des trous de mine ne sont pas rares M. Abel annonce que ce travail pénible et dangereux peut être supprimé, car, en enflammant une charge de coton-poudre par détonation, l'effet destructif obtenu est semblable, que le trou de mine reste ouvert ou soit hermétiquement fermé. « De petites quantités de coton-poudre simplement posées sur la surface supérieure d'énormes blocs de rocs les plus durs, ou bien introduites librement dans leurs cavités naturelles, ou bien encore insérées dans des pièces de fonte de grandes dimensions, ont suffi pour briser les uns et les

autres aussi complétement que si l'on avait enfermé les mêmes charges dans le centre de la masse et qu'on les eût enflammées à la manière ordinaire. »

II

Chaleur dégagée dans les combinaisons. — Mémoire de M. Berthelot sur la thermochimie. — Chaleur absorbée pendant la combinaison. — Combustions intérieures. — Mode de formation des corps qui dégagent de la chaleur en se décomposant. — Doubles décompositions. — État naissant. — Phénomènes de mouvement communiqué.

On a fait bien des hypothèses sur la cause de la chaleur; la théorie émise par Lavoisier est abandonnée, comme l'avait été celle de Stahl, et peut-être celle que nous croyons exacte aujourd'hui aura-t-elle le même sort. Actuellement la science enseigne que deux corps qui se combinent sont vivement attirés l'un vers l'autre, que leurs atomes se choquent et que de ce choc naît la chaleur, comme elle naît du choc du marteau sur l'enclume; de même que tout mouvement arrêté dans son essor donne naissance à de la chaleur, de même le mouvement des atomes, arrêté au moment de leur rencontre, est l'origine de la chaleur. Nous nous représentons un charbon brûlant dans un foyer comme assailli par une grêle de projectiles d'oxygène qui, le frappant sans relâche, finissent par le porter jusqu'à l'incandescence.

Dans ces idées, introduites dans la science à la suite de la théorie mécanique de la chaleur, on a quelque peine à concevoir comment une combinaison peut avoir lieu sans dégagement de chaleur, et réciproquement comment une décomposition qui exige un certain travail n'est pas l'occasion d'une absorption de chaleur. Dans quelques cas, cependant, les phénomènes paraissent renversés, la combinaison se fait avec absorption de chaleur, et, au contraire, la décomposition a lieu avec dégagement de chaleur; si cette décomposition donne naissance à des gaz, ceux-ci se trouvent singulièrement dilatés au moment de leur émission et une explosion se produit.

Est-ce là un fait de nature à faire douter de l'exactitude de l'idée que nous nous faisons de l'origine de la chaleur? y a-t-il, en effet, une anomalie complète, inexplicable aujourd'hui? ou

ien nous trouvons-nous seulement devant une difficulté qu'une étude approfondie peut faire évanouir ?

L'étude des corps explosifs présente à ce point de vue une importance capitale et mérite qu'on s'y arrête. En pénétrant, à la suite de M. Berthelot, dans cette partie de la science, nous aurons occasion de reconnaître encore une fois la valeur des travaux de M. Favre et de Silbermann, qui, en passant plusieurs années à déterminer les quantités de chaleur dégagées dans les combinaisons, ont rendu un service qu'on ne saurait apprécier trop haut.

Dulong fut un des premiers qui a signalé une décomposition accompagnée d'un dégagement de chaleur en montrant que le charbon, en brûlant dans le protoxyde d'azote pour donner l'acide carbonique, dégage plus de chaleur qu'en brûlant dans l'oxygène pour donner encore de l'acide carbonique. Le produit final étant le même dans les deux cas, il fallait admettre que la décomposition du protoxyde d'azote avait dégagé de la chaleur.

Depuis, les exemples se sont singulièrement multipliés ; tous les corps explosifs formés par l'union des matières organiques avec l'acide azotique, les phénomènes de fermentation, la décomposition du chlorate de potasse, celles de l'iodure et du chlorure d'azote ont encore lieu avec dégagement de chaleur. Pour nous rendre compte des causes qui le déterminent, examinons un cas particulier.

Quand on chauffe un peu brusquement de l'oxalate d'argent, on voit ce sel se détruire avec un vif dégagement de chaleur et produire une explosion qui pourrait être dangereuse si on agissait sur une quantité notable de matière. Mais ici l'analyse du phénomène est aisée ; en effet, les deux seuls produits de la décomposition sont de l'acide carbonique et de l'argent[1].

Pour expliquer, par le jeu naturel des affinités, le dégagement de chaleur observé, cherchons avec M. Berthelot, d'une part, quelle est la quantité de chaleur dégagée pour la formation de l'oxalate d'argent, quantité de chaleur qui, réciproquement, sera absorbée au moment où la décomposition aura lieu, et, d'autre part, la quantité de chaleur qui sera dégagée par la formation

[1]
$$\underbrace{C^4Ag^2O^8}_{\text{Oxalate d'argent.}} = \underbrace{4\,CO^2}_{\text{Acide carbonique.}} + \underbrace{2\,Ag}_{\text{Argent métallique.}}$$

de l'acide carbonique qui résulte de la décomposition de l'acide oxalique; nous aurons ainsi deux quantités, l'une positive, chaleur dégagée par la combinaison de l'oxygène et du charbon; l'autre négative, décomposition de l'oxalate d'argent. Nous ferons la somme et nous verrons si elle est positive ou négative; or il est facile de voir, en exécutant ce calcul, que la quantité de chaleur dégagée par cette véritable *combustion interne* du charbon par l'oxygène de l'oxyde d'argent est plus grande que celle qui est absorbée par la décomposition, et que, par suite, le phénomène final doit être un dégagement de chaleur; celui-ci est donc dû en réalité à la combinaison du charbon et de l'oxygène, phénomène dont l'énergie est supérieure à la dépense de chaleur nécessaire à la décomposition de l'acide oxalique en ses éléments.

Tout le monde sait que la fermentation est accompagnée d'un dégagement de chaleur sensible; l'explication est encore facile à trouver; il y a certainement consommation de chaleur au moment où le sucre se décompose, mais la combustion complète d'une partie du carbone, qui se transforme en acide carbonique, compense et au delà cette absorption.

On remarquera que cette manière de voir s'applique d'une façon complète à la décomposition de toutes les matières organiques renfermant de l'acide nitrique; qu'on fixe, par exemple, sur de la cellulose de l'acide azotique pour faire du coton-poudre, et on aura une matière qui, d'une part, pour se décomposer exigera une certaine dépense de chaleur, mais qui, d'autre part, dégagera une quantité de chaleur plus grande au moment où l'oxygène de l'acide azotique se portera sur le charbon et l'hydrogène de la cellulose pour les transformer en acide carbonique et en eau. La nitroglycérine, les picrates se conduiront encore de la même façon; dans tous ces composés, la *combustion interne* dégagera plus de chaleur que n'en absorbera la décomposition, et, par suite, le phénomène final sera une élévation de température qui dilatant les gaz produits, déterminera une explosion.

Tous les corps explosifs présentent, en réalité, une structure analogue à celle de la poudre à canon, dans laquelle on associe des éléments qui, par leur combinaison, peuvent dégager un grand volume de gaz que dilate la chaleur dégagée. L'azotate de potasse, en se décomposant, absorbe certainement une quantité de chaleur notable, mais la formation de l'acide carbonique et

celle du sulfure de potassium produisent un dégagement de chaleur supérieur, et le résultat final de cette réaction complexe, dans laquelle on rencontre simultanément une décomposition et une combinaison, est un dégagement de chaleur.

Nous venons de voir que, dans la poudre ordinaire, l'élévation de température qui dilate tout à coup les gaz et augmente leur force expansive était due seulement à la différence entre la chaleur dégagée par la combustion du charbon avec l'oxygène de l'acide azotique et de la potasse, par la combinaison du potassium avec le soufre et la chaleur absorbée par la décomposition de l'azotate de potasse, ce dégagement de chaleur n'est pas excessif et la poudre n'est pas brisante; mais imaginons que nous remplacions dans la poudre ordinaire l'azotate de potasse par le chlorate de potasse, qui dégage, en se décomposant, une quantité de chaleur considérable, et alors tous les phénomènes chimiques qui accompagnent la déflagration de cette poudre dégagent de la chaleur, les gaz sont extraordinairement dilatés et la poudre est brisante.

Cet exemple du chlorate de potasse nous conduit à étudier une classe intéressante de substances qui dégagent de la chaleur au moment de leur décomposition, sans que ce dégagement puisse être attribué à une combustion interne; c'est dans le mode de génération de ces substances que nous trouverons la cause de l'anomalie qu'ils semblent présenter; ces corps sont toujours, en effet, des produits secondaires qui prennent naissance en utilisant le travail que peut produire une réaction simultanée accomplie avec dégagement de chaleur.

Prenons comme exemple la formation du chlorate de potasse : elle a lieu au moment où l'on dirige un courant de chlore dans une dissolution concentrée de potasse; on sait qu'elle se formule par l'équation

$$6\,KO,\,HO + 6\,Cl = 5\,KCl + Cl\,O^5\,KO.$$

La réaction du chlore sur le potassium dégage une quantité de chaleur notable, mais toute cette chaleur-là n'est pas recueillie à l'état sensible : une part importante est utilisée à produire le travail nécessaire pour unir le chlore et l'oxygène; ces corps s'unissent avec absorption d'une partie de la chaleur mise en jeu par

la combinaison du chlore et du potassium, et, au moment où les éléments du chlorate de potasse se sépareront, il y aura dégagement de cette chaleur absorbée, dissimulée au moment de leur union.

MM. H.-S.-C. Deville et Hautefeuille ont soumis à une étude approfondie un corps éminemment explosif, le chlorure d'azote, qui se produit encore avec absorption de chaleur. Ces chimistes, aussi habiles que courageux[1], ont produit des quantités relativement considérables de ce dangereux composé, soit en faisant réagir du chlore sur du sel ammoniac, soit en attaquant ce même composé au moyen de l'acide hypochloreux. En opérant dans un petit vase métallique, où plongeait un thermomètre, la dissolution du sel ammoniac dans la dissolution concentrée de chlore, on reconnut que l'opération n'était pas accompagnée de chaleur sensible; toute celle qui avait dû prendre naissance par la réaction du chlore sur l'hydrogène de l'ammoniaque avec formation d'acide chlorhydrique avait donc été utilisée à produire le travail nécessaire pour former le chlorure d'azote; il est clair, d'après cela, que le chlorure d'azote se produit avec absorption de chaleur; il est possible, au reste, de soumettre à un calcul d'une rigueur suffisante toutes les opérations qui se succèdent pendant la formation du chlorure d'azote et d'en déduire la quantité de chaleur absorbée pendant sa formation ; on peut faire un calcul analogue sur la chaleur mise en jeu pendant la production du chlorure d'azote au moyen de l'acide hypochloreux et du sel ammoniac; dans ce cas, c'est la combustion de l'hydrogène du sel ammoniac par l'oxygène de l'acide hypochloreux qui donne naissance à la quantité de chaleur qui engendre le travail nécessaire pour unir le chlore et l'azote.

Les résultats auxquels conduisent ces calculs sont curieux.

[1] On sait que Dulong, à qui on doit la découverte du chlorure d'azote, fut grièvement blessé en étudiant ce composé dangereux; pour faire son analyse il en avait préparé la quantité énorme de 30 grammes, il connaissait les propriétés explosives du chlorure d'azote, aussi avait-il fait enlever tous les objets qui se trouvaient dans le laboratoire de Bertholet, à Arcueil, où il travaillait; enfin, avant de commencer son expérience, il trouva un prétexte pour faire sortir du laboratoire son ami Bérard, qui l'avait aidé jusqu'alors. Il était seul au moment où il versa le chlorure d azote sur le cuivre; une explosion formidable retentit, Dulong eut un œil crevé et deux doigts écrasés contre un mur sur lequel sa main avait été violemment lancée.

« Si l'on suppose que le chlorure d'azote détone spontanément sans que ses éléments, en se séparant, produisent le moindre travail, c'est-à-dire si l'on admet que les gaz chlore et azote occupent le même volume que le chlorure d'azote lui-même, on déduit de ces nombres :

« 1° Que la température des gaz sera de 2,128° ;

« 2° Que leur pression sera de 5,861 atmosphères.

« Si l'on suppose que le chlorure d'azote détone spontanément à l'air, c'est-à-dire que ses éléments n'aient à accomplir que le travail d'une pression de 760 millimètres, on trouve que la température des gaz chlore et azote sera de 1,698° [1]. »

Tous les chimistes sont préoccupés depuis longtemps de trouver une explication convenable de cette aptitude particulière que présente un corps à la combinaison, lorsqu'il vient d'être mis en liberté ; chacun sait que l'hydrogène à l'*état naissant* réduit l'acide azotique, ce qui n'a pas lieu dans les circonstances ordinaires ; que l'oxygène naissant s'unit à l'eau pour former l'eau oxygénée, tandis qu'il n'en fournit aucune trace quand, libre depuis longtemps, il est en contact avec ce liquide.

Or on ne conçoit pas en quoi consiste cette aptitude particulière à la combinaison, et le mot état naissant n'a jamais servi qu'à constater l'existence d'une série de faits dont l'explication restait à trouver ; les considérations précédentes peuvent sans doute mettre sur la voie d'une première interprétation. Ainsi que le nom l'indique, un corps ne se trouve à l'état naissant qu'au moment où il se dégage d'une combinaison, au moment où une action chimique est mise en jeu, et tout porte à croire que le corps dégagé peut profiter de la chaleur produite par la combinaison pour exercer une action qu'il serait incapable de produire si son énergie n'était surexcitée par cette chaleur dégagée.

On fait passer de l'hydrogène dans l'acide azotique, et il ne se produit pas d'ammoniaque ni même de vapeurs nitreuses ; mais attaque-t-on du zinc par de l'acide azotique étendu, aussitôt on reconnaît que la plus grande partie de l'hydrogène produit se porte sur l'acide, se combine à son oxygène, reforme de l'eau, puis s'unit même à l'azote pour produire de l'ammoniaque ;

[1] *Comptes rendus*, 1869, t. LXIX, p. 152.

n'est-ce pas que cet hydrogène est amené à un état d'énergie plus élevé par le dégagement de chaleur que produit l'attaque du zinc par l'acide azotique ? Si nous reprenions notre hypothèse des atomes se rencontrant au moment des combinaisons, ne pourrions-nous pas dire qu'un corps à l'état naissant est lancé plus vigoureusement que dans les conditions ordinaires, que, poussé ainsi par l'énergie née de la chaleur qui se produit à ses côtés, il pénètre dans une molécule contre laquelle il aurait été impuissant, si son impulsion eût été moins rapide ?

Un corps à l'état naissant produit un travail qu'il ne donne pas dans d'autres conditions, mais il ne trouve l'énergie nécessaire pour exécuter ce travail que dans la chaleur que dégage une combinaison voisine, et son mode de production est analogue à celui des corps qui se forment avec absorption de chaleur ; si on y réfléchit, on reconnaîtra, en effet, que l'eau oxygénée, par exemple, produite par l'action de l'oxygène sur l'eau, ne se produit qu'autant que de la chaleur est dégagée par une réaction voisine. Dans le mode de préparation classique dû à Thénard, on attaque le bioxyde de baryum par l'acide chlorhydrique ; il se forme de l'eau et du chlorure de baryum ; il y a dégagement de chaleur, car l'on est obligé de refroidir le mélange : une partie de cette chaleur est utilisée pour exciter la combinaison de l'oxygène et de l'eau ; dans toutes les autres circonstances découvertes par Schœnbein, où se produit l'eau oxygénée, toujours sa production est provoquée par une action calorifique ; le zinc amalgamé en s'oxydant, l'éther en se brûlant lentement à l'air, le phosphore au moment de sa combustion lente, dégagent de la chaleur et on trouve dans les liquides où ces actions se sont produites des traces sensibles d'eau oxygénée. La ressemblance entre le mode de production de l'eau oxygénée et celle des corps explosifs se poursuit même au moment de la décomposition, car on assure qu'elle peut se détruire avec explosion au contact de l'oxyde d'argent.

D'après M. Berthelot, la formation de certains corps polymères serait encore un phénomène du même ordre; ils prendraient naissance en utilisant de la chaleur extérieure ou de la chaleur produite par une combinaison voisine; et tout porte à croire que l'oxygène naissant, l'ozone, se détruit avec dégagement de chaleur, ou réciproquement qu'il se forme avec absorption de chaleur; en effet, il prend naissance, ou bien dans certaines

réactions d'oxydation comme la combustion lente du phosphore, ou bien dans la décomposition du bioxyde de baryum par l'acide sulfurique, décomposition qui donne naissance simultanément à certains sels produits avec dégagement de chaleur, ou bien encore dans l'électrolyse de l'eau ou dans l'électrisation de l'oxygène au moyen des étincelles, actions qui fournissent encore les quantités de chaleur nécessaires à sa formation.

Les considérations sur les phénomènes thermiques qui accompagnent les combinaisons sont, comme on le voit, fécondes en interprétations ingénieuses, et nous aurions encore bien des points à toucher si nous voulions suivre dans toutes ses parties le travail de M. Berthelot, dont nous essayons de retracer seulement quelques traits importants. Toutefois, avant de terminer, nous voudrions encore attirer l'attention du lecteur sur quelques-uns des phénomènes curieux connus sous le nom de mouvement communiqué et sur l'explication vraisemblable des réactions produites sous l'influence de ce qu'on appelait autrefois la force catalytique.

Examinons d'abord, avec quelques détails, la décomposition de l'eau oxygénée au moyen de l'oxyde d'argent, à laquelle nous faisions allusion tout à l'heure. Le lecteur se rappelle peut-être les belles expériences de M. Gernez sur l'action qu'exercent les courants gazeux sur la décomposition de dissolutions gazeuses ou même de combinaisons pouvant émettre des gaz; elles ont été exposées dans ce recueil[1]. M. Gernez a montré qu'une matière instable comme l'eau oxygénée, mise au contact d'un corps solide sur lequel adhérait une couche d'air, était facilement décomposée; un courant de gaz produit encore le même effet; mais, pour concevoir comment l'oxyde d'argent détermine la destruction rapide de l'eau oxygénée, la connaissance du premier fait nous suffit. On jette donc sur de l'oxyde d'argent pulvérulent de l'eau oxygénée, la couche d'air adhérente à l'oxyde d'argent détermine le dégagement de l'oxygène, la décomposition de l'eau oxygénée, mais celle-ci s'effectue avec dégagement de chaleur; cette chaleur active la décomposition et bientôt est suffisante pour déterminer celle de l'oxyde d'argent.

Nous avions deux corps en présence, la décomposition de l'un

[1] *Annuaire de 1868. — Changement d'état des corps,* par M. G. Rayet.

a dégagé assez de chaleur pour fournir le travail nécessaire pour déterminer la décomposition du second, et c'est ainsi que le mouvement de décomposition s'est transmis de l'un à l'autre.

Ce n'est pas sans un profond étonnement qu'on voit la mousse de platine placée dans un courant d'hydrogène devenir rouge de feu et enflammer le courant de gaz ; il suffit, pour comprendre cette action qui avait paru autrefois si extraordinaire, qu'on avait cru devoir l'attribuer à une force particulière, de concevoir que la condensation de l'hydrogène dans le platine dégage une quantité de chaleur suffisante pour que la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène devienne possible. Or une fois que la combinaison commence, elle dégage une quantité de chaleur suffisante pour que l'hydrogène gazeux lui-même se combine à l'oxygène et s'enflamme.

Nous terminons ici cet écrit sur les propriétés des composés explosifs; on trouvera entre les deux parties qui le composent une profonde dissemblance. Dans la première partie, nous avons enregistré les faits nouveaux qu'a dévoilés l'étude des composés détonants, et nous avons vu que, pour expliquer quelques-uns des faits singuliers qu'il a découvert, M. Abel a été conduit à imaginer une hypothèse nouvelle. C'est le propre d'une science encore peu avancée de ne pouvoir faire rentrer dans une loi générale un cas particulier, et l'étude des corps explosifs serait de nature à donner de la chimie théorique une idée peu avantageuse si l'interprétation des propriétés explosives, introduite dans la seconde partie de cet article, ne nous montrait au contraire combien les considérations que provoque l'étude des corps détonants sont fécondes, et combien de faits jusqu'ici restés en dehors des lois générales viennent au contraire s'y ranger sans difficulté.

P.-P. Dehérain:

II

INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES.

EXPÉRIENCES DE MM. BABINET, BÉKETOFF ET FAVRE. — MÉMOIRE DE M. CAILLETET. OPINION DE M. BERTHELOT. — CONCLUSIONS.

Les chimistes se sont préoccupés de tout temps de la force spéciale qui tend à unir les corps, à les combiner, et qu'ils ont appelée l'affinité. — En vertu de quelles lois cette affinité s'exerce-t-elle? est-elle susceptible d'une mesure? Ce sont là deux questions délicates, dont la solution jetterait certainement un nouveau jour sur l'explication de bien des phénomènes dont la loi nous est restée jusqu'ici inconnue. Les travaux tentés dans cette voie méritent en outre d'être signalés à cause des graves difficultés qu'ils présentent; c'est à ce double titre que nous croyons devoir exposer ici les expériences de M. Cailletet sur l'influence qu'exerce la pression sur la combinaison chimique.

Comment peut-on mesurer une force qui s'exerce, en général, à des distances très-faibles, dans des limites de temps extrêmement petites, et sur des corps dont la constitution moléculaire varie sans cesse de l'origine à la fin de l'expérience? Deux modes d'expérience paraissent pouvoir être employés : ou bien il faut mesurer l'affinité par les effets qu'elle produit, si ces effets lui sont proportionnels, ou bien il faut faire équilibre à cette force à l'aide d'une autre force connue et mesurable.

Parmi les effets qui se produisent constamment dans une action chimique, il en est un dont la mesure paraissait devoir être d'une facilité extrême; nous voulons parler de la chaleur dégagée dans l'acte de la combinaison, mais les expériences de MM. Favre et Silbermann, et plus tard celles de M. Berthelot, tout en dotant la science de résultats extrêmement curieux et importants, ont jeté momentanément[1] un faible jour sur la question dont nous nous

[1] Nous disons momentanément, car il est certain que les nombreux résultats trouvés et enregistrés avec soin par ces trois chimistes seront à un moment donné d'un puissant secours pour la mesure de l'infinité.

occupons ; le deuxième mode d'expérimentation, mis en action dans ces derniers temps par M. Cailletet, présente peut-être plus d'intérêt : il consiste à faire équilibre à l'affinité au moyen de pressions suffisamment grandes pour empêcher la combinaison d'avoir lieu. Cet équilibre est-il possible, et dans quelles limites peut-il avoir lieu? C'est ce que nous nous proposons d'examiner avec le lecteur.

Les premières idées qui furent émises sur l'influence que peut exercer la pression sur les phénomènes chimiques sont dues à M. Babinet : « Il existe, dit-il, un grand nombre de réactions chimiques qui donnent lieu à des dégagements de gaz. Si on opère en vase clos, lorsque le gaz acquiert une force élastique suffisante, l'action chimique s'arrête ; elle est suspendue jusqu'au moment où l'on donne issue au gaz comprimé, dont la force fait, en quelque sorte, équilibre à l'action chimique qui tend à la dégager. C'est cette force élastique du gaz, au moment où elle suspend l'action chimique, qui me paraît pouvoir donner la mesure de l'énergie de cette action à diverses températures, et pour diverses substances, ou au moins d'utiles indications sur ces forces encore si peu connues[1]. »

On voit que l'énoncé du problème était posé d'une manière bien nette par M. Babinet ; à l'appui de cet énoncé, il donnait, du reste, deux ou trois expériences qu'il est important de rappeler ici, non pas tant à cause de leur importance qu'à cause de l'intérêt historique qu'elles nous paraissent présenter. Le Mémoire de M. Babinet porte la date de 1828, quoique en réalité les premières expériences aient été faites vers 1818.

Ce physicien prenait une bombe de cuivre qu'il fermait hermétiquement à l'aide d'un robinet, ou bien encore un tube en cuivre épais qu'il avait fait forger par l'un des plus habiles praticiens de l'époque, M. Pixii, l'inventeur de la machine d'induction, et qu'il bouchait au moyen d'une vis ; il remplissait alors l'un ou l'autre de ces appareils d'un mélange d'eau, d'acide sulfurique et de zinc, mélange qui, comme on le sait, est susceptible de dégager de l'hydrogène. Les quantités avaient été calculées pour que la pression pût varier de 13 à 32 atmosphères, pression extrême à laquelle le cuivre devait éclater. Malgré cela, les appareils

[1] *Ann. phys. et chim.*, IIe s., t. XXXVII, p. 183.

résistaient. Il fallait donc admettre, d'après M. Babinet, que le phénomène chimique arrivait à une certaine limite à laquelle l'acide sulfurique ne pouvait plus attaquer le zinc et décomposer l'eau.

Quelqu'intérêt que présentassent de pareilles expériences, elles furent abandonnées par leur auteur, qui s'était borné, du reste, à attirer l'attention des chimistes de son époque sur ce mode d'expérimentation. Malgré cela, elles ne furent pas répétées, et il nous faut arriver jusqu'en 1858 pour les voir reprendre partiellement, et à un autre point de vue, par M. Beketoff[1].

M. Beketoff, faisant remarquer très-judicieusement que, d'après M. Babinet, le zinc cesse, à une certaine pression, de pouvoir déplacer l'hydrogène de ses combinaisons, se demanda si l'inverse ne pourrait pas avoir lieu, c'est-à-dire si l'hydrogène comprimé ne pourrait pas déplacer d'autres métaux ; il fut alors conduit à examiner comment agit l'hydrogène à hautes pressions sur divers composés salins. Ses expériences portèrent particulièrement sur les sels d'argent ; il reconnut ainsi que l'acétate d'argent, l'azotate d'argent et le sulfate d'argent étaient décomposés ; l'azotate mercureux ne résista pas non plus à l'action de l'hydrogène comprimé. Peut-être, ajoutait l'auteur, qu'à des pressions plus fortes d'autres métaux seraient aussi déplacés. Quelle était la cause de cette décomposition partielle ? Pour M. Beketoff, elle n'était autre que la masse chimique du corps réducteur, qui devenait ainsi plus grande par la pression, et par cela même agissait d'une manière plus active. A l'appui de son dire, M. Beketoff faisait encore remarquer que l'énergie du phénomène variait aussi avec la dilution de la solution argentique.

Deux ans plus tard, M. Favre reprit la question, et au moyen d'un nouvel appareil, dont il donne une description très-détaillée, M. Favre, dis-je, examina de nouveau l'influence que peut exercer la pression sur l'attaque du zinc par l'acide sulfurique. « J'ai pensé, dit-il, qu'il était d'autant plus nécessaire de faire des expériences spéciales, que MM Babinet et Beketof ont avancé que l'électrolyse de l'acide sulfurique par le zinc, dans un espace hermétiquement clos, est arrêtée par la pression qu'exerce l'hydrogène mis en liberté[2]. »

[1] *Comptes rendus*, t. XLVIII, p. 442.
[2] Ibid., *idem*.

Les premiers résultats auxquels il arriva furent conformes aux idées de M Babinet ; en effet, en opérant l'attaque du zinc par l'acide sulfurique et l'eau à l'air libre, M. Favre trouvait que, en 17 minutes, il y avait 720 centimètres cubes d'hydrogène dégagée ; en 46 minutes, 908 centimètres cubes ; en 1 heure 45 minutes, 935 centimètres cubes ; à ce moment, il y avait 2gr,634 de zinc dissous.

Si, au contraire, au lieu d'opérer à la pression ordinaire, on opérait en vase clos, on trouvait que, après 17 minutes, sous une pression de 86 atmosphères, il y avait 608 centimètres cubes d'hydrogène dégagé, c'est-à-dire 112 centimètres cubes de moins que dans la première expérience ; après 46 minutes, 789 centimètres cubes sous une pression de 43 atmosphères, et en 1 heure 45 minutes, sous une pression de 50 atmosphères, 901 centimètres cubes. Ainsi, dans les trois cas, la quantité d'hydrogène dégagée était de beaucoup plus faible lorsqu'on opérait à hautes pressions. Mais ce résultat ne satisfit pas M. Favre ; et, changeant son mode d'expérimentation, il opéra sur du zinc amalgamé ; alors les résultats furent tout différents.

« Lorsque le zinc attaqué est amalgamé et forme avec le platine un couple voltaïque mis en communication avec quatre éléments de Bunsen, ou bien encore lorsque ce couple est remplacé par un voltamètre à électrodes en platine, on ne remarque aucune différence dans l'intensité du courant et la quantité du gaz fournie dans des temps égaux par un voltamètre placé dans le circuit et fonctionnant sous la pression de l'air ; elle reste la même pendant toute la durée de l'expérience, soit que les gaz s'échappent librement, soit qu'ils restent confinés dans une ampoule fermée hermétiquement par une monture en cuivre et accroissent sans cesse la pression qui peut finir par briser l'ampoule contenant le gaz, sous un effort de 70 à 80 atmosphères. »

C'est à ces dernières expériences que s'arrête M. Favre, et d'après elles qu'il conclut en infirmant la proposition de M. Babinet ; mais il restait à expliquer cette première expérience qui paraissait contredire si fortement la dernière ; était-ce l'influence de la pression sur le sulfate de zinc qui, venant à cristalliser sur le zinc, empêchait l'attaque de se continuer? Non, les expériences de M. Favre lui prouvaient que cette influence était nulle. — Restait une dernière hypothèse qui fut formulée de la manière suivante par son auteur :

il semble plutôt que le ralentissement d'action provient de l'adhérence de l'hydrogène à la surface du zinc, adhérence d'autant plus forte que la pression est plus considérable, et qui diminue de plus en plus la surface d'attaque. Je parle d'une simple adhérence, car il ne m'a pas été possible de constater la formation d'un alliage.

Quoi qu'il en soit, le travail de M. Favre n'était pas assez précis pour pouvoir permettre de formuler une opinion sur la réalité du phénomène, et de nouvelles expériences étaient nécessaires pour décider la question. C'est alors que M. Cailletet reprit les expériences de ses devanciers et chercha à les compléter. Les résultats dont nous allons parler ont été exposés par lui dans un mémoire publié au commencement de l'année, dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences [1].

L'appareil employé dans toutes les expériences de M. Cailletet se compose d'un tube en verre, relié par un tube de cuivre capillaire flexible à un réservoir en fonte, mis en communication avec une presse hydraulique ; une disposition particulière de ce réservoir permet de mesurer très-facilement la pression et de la rendre constante.

Les premières expériences qui furent faites eurent particulièment pour objet la production de l'hydrogène dans un espace limité et l'électrolyse de l'eau; il était en effet important de vérifier tout d'abord l'exactitude des résultats de M. Favre.

En opérant à diverses pressions, M. Cailletet donne les chiffres suivants :

Les expériences étant faites à la pression ordinaire, dans un temps déterminé et constant pour toutes les opérations, il y a eu 10 grammes de zinc dissous par la liqueur acide ; à la pression de 60 atmosphères, l'acide chlorhydrique ne dissout plus que 4gr,70 de zinc, et, en dernier lieu, pour une pression de 120 atmosphères, 0gr,1 de zinc entre seulement en dissolution.

« La décomposition de la pile est également entravée par la pression. En transformant le tube laboratoire en voltamètre, dans lequel les fils de platine sont recouverts par un tube en forme d'éprouvette, on remarque que le dégagement gazeux, qui était

[1] *Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 396 et suivantes.

abondant à l'air libre, cesse complétement lorsqu'on fait agir une pression suffisante.

On voit què si les premières expériences de M. Favre concordent avec celles de M. Cailletet, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de la décomposition de l'eau par l'électricité ; cependant il est un point sur lequel s'accordent les deux auteurs : c'est que l'intensité du courant reste la même quelle que soit la pression exercée dans le voltamètre.

L'attaque d'un cristal de carbonate de chaux par l'acide azotique est aussi extrêmement ralentie par la pression ; le rapport des quantités dissoutes dans le même temps, sous 150 atmosphères et à l'air libre, sont entre elles comme 1 est à 11,09.

« En renfermant dans un tube de verre clos de l'amalgame de sodium et de l'eau, on peut s'assurer encore que l'oxydation du sodium est annulée ou presque annulée, en raison de la pression développée par l'accumulation de l'hydrogène dans cet espace limité ; car, en ouvrant le tube après plusieurs jours, on voit reparaître le dégagement gazeux qui était devenu insensible. Une même quantité d'amalgame, exposée à l'air libre avec de l'eau, avait perdu en peu de temps toute trace de métal alcalin. L'action chimique, si puissamment ralentie par la pression, peut reprendre une nouvelle activité par l'élévation de la température. Ainsi, en maintenant une lame de zinc dans de l'acide sulfurique étendu et à zéro, on remarque qu'en échauffant le tube à 50° les quantités de gaz recueillies dans les deux expériences sont entre elles comme 1 est à 2,8.

« Enfin, il restait une dernière vérification de cette influence que peut exercer la pression sur l'activité des phénomènes chimiques : elle consistait à examiner si la réciproque du problème était vraie, c'est-à dire si la décomposition chimique était augmentée en opérant dans le vide au lieu d'expérimenter à l'air libre. Les résultats furent encore conformes aux idées théoriques de M Cailletet ; en effet, on a pu constater que les quantités de matières dissoutes par les acides à l'air libre sont moins considérables que celles enlevées en opérant dans un vase vide d'air. Ce rapport est, pour l'aluminium plongé dans l'acide chlorhydrique, comme 1 est à 1,68 ; pour le zinc, dans l'acide sulfurique, comme 1 est à 1,53 . et pour le carbonate de chaux dans l'acide azotique, comme 1 est à 2,51. »

Telles sont les expériences publiées par M. Cailletet[1] ; à l'époque où ce Mémoire fut publié, l'auteur annonçait une nouvelle série d'observations ; nous savons même qu'un certain nombre d'expériences doivent être exécutées à l'École normale, au laboratoire de M. H. Saint-Claire Deville, dans une chambre en tôle, pouvant supporter des pressions assez considérables ; mais son aménagement n'est pas encore terminé.

Il nous reste maintenant à examiner quelles sont les conséquences que l'on peut tirer des faits précédents, et quelles sont les objections qui furent faites aux conclusions de M. Cailletet par son puissant contradicteur, M. Berthelot. Comme nous l'avons dit, dès le début de cet article, la première hypothèse qu'il paraît plausible d'avancer est que si l'action chimique est arrêtée dans une certaine mesure, c'est qu'une autre force est susceptible de lui faire équilibre et de la contre-balancer. Ainsi, si nous voulons nous servir d'une comparaison vulgaire, mais qui rendra parfaitement notre pensée, nous comparerons le travail de l'affinité chimique à l'effort exercé par une personne qui cherche à soulever un fardeau ; si le fardeau est léger, elle l'élèvera facilement ; mais si on augmente peu à peu la charge, il est clair qu'il arrivera un moment où elle ne pourra plus être supportée. Il en est de même pour la combinaison chimique, dans l'hypothèse qui a été émise pour la première fois par M. Babinet ; tant qu'elle a lieu dans les conditions normales, elle peut se manifester, mais si on exerce sur les corps réagissants un certain effort, il pourra arriver un moment où cet effort sera assez grand pour empêcher les corps de s'unir entre eux. Et, de même que si nous avions voulu établir la force comparative de la personne qui soulève un fardeau, nous l'aurions évaluée au moyen du poids maximum qu'elle est capable de porter, de même nous évaluerons l'affinité chimique au moyen de la pression minimum à laquelle elle cesse d'agir.

Ceci étant bien établi, la question pourra être étudiée à deux

[1] Parmi les expériences qui furent faites nous citerons la suivante qui, quoique sortant de notre sujet, n'en est pas moins remarquable : de petites anguilles placées dans le tube d'essai, et soumises à une pression considérable, continuèrent à vivre. C'est là, au reste, une confirmation des faits observés par M. A. Milne Edwards au sujet de coquillages marins, qui s'étaient attachés à un câble électrique, immergé par de très-grandes profondeurs, et qui supportaient par conséquent d'énormes pressions.

points de vue différents : le phénomène chimique cesse-t-il bien de se manifester sous l'action de la pression? Dans le cas où l'action chimique ne s'exerce plus, est-ce bien parce qu'une autre force agissant en sens inverse lui fait équilibre, ou bien n'est-ce pas plutôt parce que la pression qui s'exerce sur les réactifs mis en présence modifie l'état de ces corps et transforme leurs propriétés au point de les empêcher de réagir, comme cela aurait lieu dans les conditions ordinaires de pression?

A la première question M. Cailletet répondit d'une manière absolue : « Il faut conclure, dit-il à la fin de son Mémoire, des faits que je viens d'avoir l'honneur de rapporter à l'Académie, que la pression fait obstacle d'une manière puissante à l'action chimique. Si je ne suis pas encore parvenu, dans toutes mes expériences, à annuler complétement cette action, il semble démontré qu'en opérant à des pressions plus grandes, on arriverait à une indifférence absolue des matières mises en contact. On peut donc admettre, dès à présent, que si la pression atmosphérique que nous supportons venait à augmenter, nous cesserions d'être témoins d'un grand nombre de réactions qui s'accomplissent à chaque instant sous nos yeux. »

Quant à la deuxième question, M. Cailletet n'en parle pas du tout dans son premier Mémoire; il se borne simplement, comme seule conséquence théorique, à faire remarquer l'analogie qui semble exister entre le phénomène de l'ébullition et celui de la décomposition chimique, analogie fondée sur la décomposition de l'amalgame de sodium, variant avec l'élevation de la température dont nous avons parlé plus haut.

La conclusion que tira M. Cailletet de ses recherches ne satisfit point M. Berthelot, et, dans une note qu'il publia quinze jours plus tard, le savant professeur mit en doute les expériences de M. Cailletet sur l'arret de dégagement de l'hydrogène dans la décomposition de l'eau par l'acide sulfurique à haute pression. L'expérience rapportée par M. Berthelot a assez d'importance pour que nous croyions devoir la citer ici dans tous ses détails :

« Il est facile, dit l'auteur, de s'assurer que la pression n'empêche point en définitive, et par elle-même, l'attaque du zinc par les acides ; j'ai fait, il y a douze ans, l'expérience suivante à cet égard, simple confirmation des observations analogues dues à Faraday, à Gmélin et à divers autres.

« J'ai pris un tube de verre vert, fermé par un bout, d'un diamètre intérieur égal à 0m,006 et d'une épaisseur telle, que le tube put résister aux pressions intérieures, tant que celles-ci ne dépasseraient pas 180 atmosphères ; cette résistance a été mesurée directement sur une autre portion du même tube. J'ai introduit dans le dit tube 10 grammes de zinc grenaillé ; j'ai étranglé en entonnoir l'extrémité ouverte, puis j'y ai versé de l'acide sulfurique étendu d'eau, dans une proportion telle que le sulfate de zinc ne pût cristalliser (10 parties d'eau environ). Le poids de l'acide introduit était capable de dégager 230 centimètres cubes d'hydrogène. Le vide laissé à la partie supérieure du tube s'élevait à un centimètre cube, de telle sorte que la pression maximum qui pût se développer dans l'appareil clos demeurât inférieure à 230 atmosphères (en tenant compte de la solubilité de l'hydrogène dans la liqueur).

« Aussitôt après l'introduction de l'acide, j'ai scellé le tube à la lampe et je l'ai déposé sur un support, le tube étant vertical et le zinc placé vers sa partie supérieure, afin de permettre au liquide saturé de sulfate de zinc, qui se forme à la surface du métal, de s'écouler à mesure vers le bas du tube.

« La réaction, d'abord vive, a semblé presque aussitôt s'arrêter, ou plutôt devenir presque insensible. Cependant, au bout de quelques heures, le tube s'est brisé avec une violente explosion. Le dégagement de l'hydrogène n'avait donc pas été empêché, mais seulement ralenti. D'ailleurs, les nombres cités plus haut prouvent que la réaction, pour développer une pression supérieure à 180 atmosphères, a dû être presque complète. »

Ainsi, d'après M. Berthelot, le zinc est attaqué toujours par l'acide sulfurique, et l'hydrogène se dégage complétement comme si l'expérience avait lieu à l'air libre, mais, il est vrai, dans un temps plus long. Les expériences de M. Berthelot étaient-elles à l'abri de tout reproche ? Ne pouvait-on pas lui objecter, par exemple, comme le fit M. Cailletet, que dans le travail du verre à la lampe d'émailleur la résistance du tube n'était pas diminuée ? A cette objection le savant chimiste avait pour lui un argument presque sans réplique : le travail de *dix ou douze mille tubes* scellés à la lampe dans lesquels on avait développé des pressions pouvant aller jusqu'à 800 atmosphères. Et, cependant, dans une autre note, M. Cailletet affirmait « avoir pu maintenir du zinc en excès, et de

l'acide sulfurique pendant douze jours au contact, et après ce temps, les tubes ayant été ouverts, avoir pu constater que l'acide sulfurique n'était nullement saturé puisqu'à la pression ordinaire, le zinc restant était attaqué de nouveau. »

Entre ces deux affirmations, qui toutes deux ont une grande valeur, il nous est presque impossible de décider ; cependant il résulte clairement de ces faits que la pression peut intervenir dans les phénomènes chimiques, et, sinon les empêcher, du moins modifier la vitesse et peut-être meme la nature de la réaction, comme le prouvent les expériences de M. Cail etet, et même celles de M. Berthelot. Le seul point véritablement controversé, c'est la seconde des questions que nous avons posées précédemment, et sur laquelle nous allons maintenant appeler l'attention du lecteur.

Comment réagit la pression dans la combinaison chimique ? Tandis que M. Berthelot répond d'une manière affirmative que la pression ne peut pas faire équilibre à l'action chimique, comme l'avait avancé M. Babinet, et qu'elle n'agit qu'en modifiant les conditions, et par cela même le résultat final de l'expérience, M Cailletet, plus prudent, se borne à examiner les hypothèses que l'on peut faire dans l'état actuel de la science pour rendre compte des faits qu'il a observés. Répondant à M. Berthelot, qui se prononce d'une manière absolue dans une note présentée à l'Académie : (« Ce n'est donc point la pression qui arrète directement le dégagement de l'hydrogène »), M. Cailletet fait observer que « lorsqu'il voit le dégagement de l'hydrogène se ralentir et même s'annuler dans l' ction de l'acide sulfurique hydraté sur le zinc, il trouve dans la science bien des hypothèses à faire pour expliquer ce phénomène :

« 1° La dissolution de l'hydrogène dans le liquide, dissolution dont le coefficient de solubilité est inconnu à des pressions élevées ;

« 2° Combinaison de l'hydrogène avec l'eau pour former un sous-oxyde ;

« 3° Formation d'acide sulfureux dans le cas où l'acide sulfurique est employé ;

« 4° Séquestration de la lame de zinc par une couche de gaz se déposant à sa surface ;

« 5° Enfin, intervention des propriétés chimiques des corps mis en présence. »

Ces diverses hypothèses peuvent, en effet, expliquer l'influence qu'exerce la pression sur l'attaque du zinc; celle de la polarisation des électrodes, particulièrement, est très-admissible; nous avons vu qu'elle avait été formulée pour la première fois par M. Favre et qu'elle est admise ici par M. Cailletet; pour M. Berthelot, c'est aussi une des causes les plus évidentes du ralentissement du phénomène.

Mais, si l'on trouve facilement une explication dans ce cas particulier, il nous paraît beaucoup plus difficile, comme le fait très-bien observer M. Cailletet, d'expliquer la décomposition du carbonate de chaux par l'acide azotique, décomposition qui cesse partiellement sous l'influence de la pression; en effet, l'acide carbonique est liquide à la pression à laquelle on opère, et il ne peut empêcher l'action de l'acide de s'exercer à la surface du carbonate : il faut donc admettre, dans ce cas, à défaut d'autre hypothèse, que l'action chimique est équilibrée par la pression.

Enfin, il nous paraît difficile d'expliquer autrement l'action de l'acide chlorhydrique sur l'aluminium, action qui est activée par la diminution de pression produite en faisant un vide partiel dans les appareils où l'on opère.

Il résulte de ces faits, et de la discussion soulevée entre M. Berthelot et M. Cailletet à ce sujet, qu'il nous est aussi difficile de nous prononcer sur cette question que sur la précédente; une affirmation dans un sens ou dans l'autre nous paraîtrait prématurée, et, avant de conclure, il faut attendre que l'expérience ait décidé la question d'une manière définitive.

Quoi qu'il en soit, il n'en reste pas moins acquis à la science que la pression peut jouer un rôle important dans les phénomènes chimiques; elle peut modifier leur nature, et, dans certains cas, les arrêter complétement; ces phénomènes, sensibles lorsqu'on agit à de hautes pressions sur les solides et les liquides mis en réaction, avaient été déjà montrés d'une manière très-élégante et bien plus certaine, par M. Berthelot, dans les réactions éthérées, lorsqu'on fait réagir entre eux des corps susceptibles de produire des éthers.

Mais, dans ce cas, pour M. Berthelot, ce n'est plus la pression qui exerce directement son action sur le phénomène, mais bien la condensation plus grande de la matière qui facilite la réaction et en augmente la vitesse. C'est là, au reste, l'hypothèse dont

M. Beketoff s'est servi pour expliquer la décomposition des sels d'argent par l'hydrogène comprimé.

En dernier lieu, nous nous permettrons de tirer une conclusion personnelle de tous ces faits : l'influence qu'exerce la pression sur les phénomènes chimiques étant admise, elle a dû jouer un rôle capital sur la formation de tous les principes constituants qui se trouvent à la surface du globe. Lorsque la terre commença à se refroidir, la pression que supportait la surface devait, en effet, être extrêmement considérable, puisque l'atmosphère gazeuse qui la constituait à cette époque était de beaucoup plus dense. C'est peut-être là une de ces conditions disparues qui ont permis la formation d'un certain nombre de corps que nous n'avons pu décomposer jusqu'ici et que nous appelons corps simples. En effet, les découvertes de la chimie moderne nous font présumer qu'il n'y a qu'une seule matière, et que ce sont les modifications diverses de cette matière qui constituent tous les corps, quelque variées que soient leurs propriétés[1].

Ed. Landrin.

III

NOTICE NÉCROLOGIQUE.

THOMAS GRAHAM

Il arrive parfois que la fin de la carrière d'un savant ne répond pas au début, et que, lassé du rude labeur qui a rempli ses premières années, il s'abandonne au repos, jouissant d'une position et d'une renommée justement acquises. Tel n'est pas le cas de Th. Graham : il avait débuté avec éclat par des travaux remarquables sur l'acide phosphorique, puis il avait pour nous, qui ne le suivions qu'à distance, presque disparu pendant d'assez lon-

[1] Voy. à ce sujet, un article de M. Dehérain : *la Transmutation et la Chimie moderne. Annuaire scientifique*, 3e année, 1864.

gues années; mais se réveillant tout à coup à la fin de sa vie, il a donné pendant cette dernière période des mémoires d'une importance telle que, malgré le choix très-sévère auquel notre cadre nous condamne, nous avons, presque dans chaque volume de ce recueil, insisté sur ses découvertes.

Rien ne nous est parvenu de la vie de Th. Graham; nous ignorons tout de l'homme, de ses goûts et de ses habitudes. Nous n'avons pas fait de grands efforts pour faire cesser cette ignorance, car ce recueil est consacré à l'histoire des idées et non à celle des détails puérils qui n'intéressent qu'une vaine curiosité; nous savons seulement qu'il est né le 20 décembre 1805, qu'il a professé successivement à Glascow, puis à Londres, où il devint, en 1855, directeur des monnaies en remplacement de sir John Herschell.

Le travail qui a fondé la réputation de Graham est inséré aux *Annales de chimie et de physique de* 1837; il a trait aux acides phosphoriques, dont, en quelques pages, il fait l'histoire avec une admirable clarté. Rien n'a été changé à ce qu'il a dit; il nous a expliqué qu'il existait trois hydrates d'acide phosphorique, dont l'un, l'acide métaphosphorique monobasique, était inconnu avant lui, et que ces acides pouvaient remplacer chacun de leurs atomes d'eau par des atomes de base.

Je ne puis faire en quelques pages l'histoire complète des travaux de Th. Graham; je laisserai donc de côté ses travaux sur le rôle de l'eau dans les sels; ses recherches sur les développements de chaleur qui ont lieu dans les combinaisons, même le mémoire sur la force osmotique, pour arriver aux travaux sur la diffusion. Nous avons eu occasion déjà d'indiquer dans ce recueil (voy. *Annuaire* de 1864 : *l'Absorption et la sécrétion chez les êtres vivants*) les curieuses expériences accumulées dans ce dernier travail; une matière soluble, capable de cristalliser, abandonnée au fond d'une longue éprouvette cylindrique, au-dessous d'une épaisse colonne d'eau, finit par se répandre dans tout le liquide, et cela en dehors de tout mouvement du liquide lui-même; la matière soluble triomphe de la force de pesanteur, elle s'élance dans l'eau qui la recouvre, comme s'il y avait entre les molécules d'eau et celles de la matière *cristalloïde* une sorte d'attraction qui, s'exerçant de proche en proche, l'élève jusqu'au sommet du liquide; une matière *colloïde*, comme

la gomme, ne se diffuse pas avec la même rapidité, mais reste au contraire confinée au fond du vase qui la renferme. Cette diffusion n'a lieu, nous le répétons, que pour une matière à structure cristalline. Ces mouvements des corps dissous en dehors de tout mouvement du liquide lui-même, ce transport d'une matière soluble d'un point à l'autre d'un liquide, nous étaient connus, puisque nous savons tous qu'un cristal peut grossir dans une dissolution qui s'évapore lentement; mais Graham a précisé les faits et a judicieusement attiré sur eux l'attention des savants. La connaissance de la diffusion nous a été d'un grand secours dans les recherches que nous avons entreprises sur l'assimilation des substances minérales par les plantes, et, dans l'exposé que nous avons donné dans ce recueil des travaux que nous avons entrepris sur ce sujet, nous avons indiqué comment les expériences capitales de Graham nous avaient frayé la voie dans laquelle nous devions nous engager.

Il n'y a pas encore longtemps que les naturalistes étaient singulièrement embarrassés quand ils avaient à parler du travail qu'accomplissent les reins; ils voyaient bien, d'un côté, le sang baigner cet organe, de l'autre s'échapper un liquide présentant une composition toute différente, mais ils n'avaient aucune idée précise sur le mode employé par la nature pour séparer l'urée qu'on retrouve dans l'urine, des éléments qui restent dans le sang. Th. Graham, en montrant qu'une membrane *colloïdale*, faite de papier trempé dans l'acide sulfurique, laisse diffuser dans l'eau qui baigne l'une de ses faces les matières cristalloïdes, tandis qu'elle retient, au contraire, les matières colloïdes; en montrant que la *dyalise* qui s'effectue dans ces circonstances est un moyen précieux de séparation des cristalloïdes et des colloïdes, Graham, disons-nous, a reproduit dans le laboratoire un travail analogue à celui qu'exécutent les reins et a mis les anatomistes sur la trace de la solution de cette question délicate.

Les derniers travaux de Graham sur l'occlusion des gaz ont mis le sceau à sa renommée; nous les avons analysés à mesure qu'ils se sont produits, et nous n'aurons qu'à les rappeler rapidement [1].

Les gaz passent tout différemment au travers des membranes

[1] Voy. *Annuaire*, de 1867, 1868, 1869.

cristalloïdes ou au travers des membranes colloïdes ; dans un cas, la loi du passage a été trouvée, la vitesse est réciproquement proportionnelle aux carrés des densités ; l'hydrogène très-léger passe bien mieux que l'acide carbonique très-lourd ; au contraire, au travers des membranes colloïdes, la marche est toute différente, et Graham, que les plus grandes hardiesses de pensée n'effrayent pas toujours, n'hésite pas à supposer que les gaz, au contact de ces membranes, se liquéfient, que c'est comme liquides qu'ils se font jour au travers des membranes colloïdales et qu'ils arrivent à la surface de sortie où ils reprennent l'état gazeux. Quoi qu'il en soit de cette supposition, ses recherches le conduisent tout d'abord à une conséquence des plus curieuses : l'oxygène passe mieux au travers d'une membrane de caoutchouc que l'azote, de telle sorte qu'il y a peut-être là un moyen d'arriver à la solution de cette question : la préparation économique d'un gaz plus riche en oxygène que notre air atmosphérique ; les physiologistes pourront peut-être aussi utiliser cette connaissance pour ajouter quelques points nouveaux à l'histoire de la respiration. Un naturaliste distingué, M. Barthélemy, est déjà entré dans cette voie ; d'après lui, si les feuilles décomposent plus activement l'acide carbonique par leur surface dure et lisse, l'*endroit*, que par l'envers, c'est que l'acide carbonique pénétrerait plus facilement par cette surface dure et dense que par la surface inférieure, plus lâche, moins voisine de la structure colloïdale avantageuse à cette pénétration.

Non-seulement les gaz pénètrent au travers des corps solides, mais ils s'y fixent, particulièrement à une température élevée. Graham a vu que notre fer terrestre, toujours chauffé au milieu des gaz de nos foyers, renferme de l'oxyde de carbone ; puis, portant ses investigations sur le fer météorique de Lenarto, il conclut de l'hydrogène qu'il renferme que ce fer provient d'un astre dont la température était extrêmement élevée, et où l'atmosphère, comme celle de notre soleil, renfermait de l'hydrogène libre.

Nous arrivons enfin au travail de Graham sur l'hydrogène, travail hors de ligne et qui fut comme le chant du cygne. Depuis bien des années, les propriétés de l'hydrogène avaient conduit M. Dumas à supposer que ce gaz n'était autre qu'une vapeur métallique. « Si on liquéfie l'hydrogène, disait-il, il aura l'appa-

rence du mercure. » Quand on citait cette opinion, on l'accueillait souvent d'un sourire, et cependant, ce que M. Dumas prévoyait, Th. Graham l'a démontré : l'hydrogène se *combine* au palladium, forme avec lui un alliage dans lequel il est l'élément magnétique; les expériences sont concluantes[1].

Qu'on place dans l'eau acidulée un fil de palladium formant le pôle négatif d'une pile, dont le pôle positif sera formé d'un fil de platine, puis qu'on fasse passer le courant, et on remarquera que tandis que l'oxygène se dégage en abondance, il n'apparaît, pendant les premiers instants de l'expérience, aucun gaz au pôle négatif : ce n'est qu'après plusieurs minutes que le dégagement a lieu ; qu'on frotte ensuite légèrement ce fil de palladium de magnésie et qu'on le mette dans la flamme d'une lampe à alcool, et on verra bientôt une petite flamme d'hydrogène apparaître à quelque distance du point échauffé, montrant ainsi que l'hydrogène avait formé avec le palladium une combinaison que la chaleur peut détruire. — La mousse de palladium se combine aussi à l'hydrogénium. Qu'on fasse passer dans un tube renfermant la mousse un courant d hydrogène, puis qu'on ferme l'orifice d'arrivée du gaz, et qu'on chauffe le palladium, et on reconnaîtra bientôt qu'il se dégage de l'hydrogène facile à enflammer à l'extrémité du tube ; le dégagement continue pendant quelques instants, montrant que la mousse de palladium avait occlus une quantité sensible de gaz hydrogène.

La combinaison de l'hydrogène détermine une augmentation de volume des lames du palladium sur lesquelles il se fixe, et, si on a soudé sur une plaque mince de platine, roulée en spirale, une petite lame de palladium, celle-ci, en absorbant de l'hydrogène, augmente de volume et se courbe davantage, puis se déroule bientôt dans l'autre sens, si on change les pôles de la pile et qu'on fasse arriver sur le palladium de l'oxygène qui, brûlant peu à peu l'hydrogène qui s'était fixé pendant la première expérience, détruit l'alliage formé et diminue l'allongement qu'avait éprouvé le palladium.

Les *Annales de chimie et de physique*[2] ont publié tout récem-

[1] Nous avons pu, M. Lecarme et moi, les répéter aisément devant nos jeunes élèves du collége Chaptal.

[2] Novembre 1869.

ment ces dernières expériences, disposées par M. W. Chandler Roberts, d'après les indications de Th. Graham; elles n'ont été connues en France qu'après la mort de ce savant illustre, arrivée à Londres, le 5 septembre de cette année.

Ce qui nous semble caractériser particulièrement le génie de Th. Graham, c'est une profonde originalité; il ne dérive de personne; ce n'est pas un de ces esprits qui se placent volontiers à la suite et qui développent les idées d'autrui; il ne cherche nulle part ses inspirations, elles lui sont entièrement personnelles. Sans doute il n'atteint pas à la hauteur de Lavoisier, de Berzelius, de Davy, de Gay-Lussac, mais immédiatement derrière ceux qui ont fondé la science, il est parmi les premiers.

P.-P. D.

MÉTÉOROLOGIE

I

PROGRÈS DE LA MÉTÉOROLOGIE.

I

Le fœhn considéré comme phénomène général. — Travaux du Bureau météorologique de Londres. — Cartes thermales de l'Atlantique sud. — Sondages de l'Atlantique nord. — Discussion des observations nautiques. — Avis télégraphiques du temps. — Loi de Buys-Ballot. — Similitude des cartes du temps. — Avertissements pour les mines. — Usage des courbes isobariques.

Nous reviendrons d'abord à la question du vent de *fœhn*, que nous avons traitée l'année dernière ; elle reçoit un nouvel intérêt de quelques documents qui nous sont parvenus. L'opinion des savants, des géologues principalement, qui assignent pour origine à ce vent le grand désert du Sahara, ne peut se soutenir que pour des cas entièrement exceptionnels ; il faut plutôt le regarder comme un rameau du grand courant équatorial, qui aborde notre zone tempérée comme vent de sud-ouest. La haute température et la sécheresse viennent de ce qu'il descend brusquement d'une hauteur considérable, en arrivant dans les vallées des Alpes. Comme il a dû franchir les cimes de la chaîne, il ne peut renfermer qu'une petite quantité de vapeur d'eau, et la chaleur dérive de la compression mécanique. A ce sujet, comme nous l'avons dit, M. Dufour faisait remarquer « que des phénomènes analogues devaient se manifester aussi sur le versant sud des Alpes à l'égard des courants venant du nord, et même que des faits semblables devaient se produire au pied de toutes les chaînes de montagnes,

lorsque la distribution de la pression atmosphérique vient déterminer un courant descendant. » La justesse de cette opinion n'a pas tardé à être vérifiée. M. Hann, savant allemand déjà cité par nous l'année dernière, et M. Wild, directeur de l'Observatoire central de Saint-Pétersbourg, ont publié à ce sujet de très-bonnes études[1]. Ils montrent qu'il y a non-seulement des fœhns « du sud, » mais aussi des fœhns « du nord. » Pendant la tempête qui régna au commencement du mois de février 1862, par exemple, il y eut dans l'après-midi du 2, sur les bords du lac de Côme, une sécheresse de 12 p. 100 avec la température de 22°, tandis qu'à 6 heures du matin la température était à 19° et l'humidité à 25 p. 100. Le vent soufflait du N. E. et du N. N. E. au sud des Alpes, du N. O. en général au nord avec des pluies. Le courant S.-O., qui régnait sur l'Europe occidentale, en s'infléchissant vers le sud devait donner naissance à un fœhn descendant sur le versant méridional.

M. Dufour, dans son analyse du fœhn du 23 septembre 1866, avait constaté que ce vent avait au fond des vallées une chaleur supérieure à celle du niveau de la mer Méditerranée. Cependant, en descendant d'une certaine hauteur et en se comprimant, une masse d'air ne peut subir qu'une variation de température identique à celle qui se produit lorsqu'elle s'élève d'une hauteur égale. Dans le *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles* (t. XXXII), M. Dufour fait voir qu'il faut faire intervenir ici la vapeur d'eau. C'est elle qui empêche l'air ascendant de se refroidir beaucoup ; comme elle se condense en partie, sa chaleur latente, devenant libre, diminue le refroidissement de l'air. Arrivé au sommet des Alpes, avec une température plus élevée que s'il eût été sec, l'air peut atteindre ensuite, en se précipitant sur le versant nord, un degré d'échauffement qui semblait d'abord en contradiction avec la théorie. Ces considérations conduisent à voir dans le fœhn un phénomène beaucoup plus général qu'on ne l'a cru jusqu'à présent.

M. Hann a déjà réuni quelques observations qui montrent un vent semblable dans la vallée d'Hermannstadt, sur les pentes septentrionales de la Norwége, et même au Groenland, où il in-

[1] Article de M. Hann dans le *Zeitschrift der œstrischischen Gesellschaft für Meteorologie*, et brochure de M. Wild : *ueber Fœhn und Eiszeit*.

flue d'une manière très-sensible sur la fusion des champs de neige.

Le Bureau météorologique de Londres a publié récemment un excellent travail qui comprend les cartes déduites des observations anglaises et hollandaises sur les températures superficielles de la mer dans l'Atlantique sud. Elles en donnent les variations mois par mois Les limites, encore peu connues jusqu'à présent, des courants froids ou chauds peuvent être tracées jusqu'au parallèle de 60° de latitude sud; elles serviront à la rectification des Pilot-charts préparées par les ingénieurs hydrographes. Dans l'introduction, le directeur du Bureau, M. Robert Scott, s'occupe d'une série de points de la surface de l'Océan, qui présentent un intérêt particulier. Tel est, par exemple, celui qui se trouve exactement à l'équateur par la longitude de 23° ouest. Dans l'espace de vingt-quatre heures, sa température a éprouvé un changement de 5°, et la couleur bleue de l'eau s'est changée en vert clair. Suivant le capitaine Toynbée, ces cartes peuvent dès à présent servir à faire connaître par la température de l'eau, si l'on se trouve ou non sur le banc des Aiguilles.

Dans l'Atlantique nord, les grands sondages et la détermination de la température des eaux profondes à l'aide d'un thermomètre perfectionné, ont fourni des matériaux qui vont être mis en œuvre. Une campagne entreprise à bord du *Lightening*, par deux savants naturalistes, les docteurs Carpenter et Wyville Thompson, sur les côtes septentrionales de l'Écosse, a eu principalement pour objet la réunion d'éléments nouveaux pour les recherches relatives aux organismes microscopiques des grands fonds. Nous avons appelé l'attention[1] sur des travaux du même ordre, entrepris depuis plusieurs années par un groupe de naturalistes français, MM. Berchon, de Folin, Périer, qui poursuivent la publication de leur important ouvrage : *les Fonds de la mer*.

Le capitaine Toynbée, qui est spécialement chargé dans le Bureau de Londres du service maritime, a publié un intéressant mémoire sur la météorologie de l'Atlantique nord entre les parallèles de 40° à 50°. Il a demandé la communication des journaux de bord aux paquebots anglais qui font les voyages des États-Unis, et il a tracé, d'après les observations recueillies, une série de diagrammes dont la discussion l'a conduit à d'utiles in-

[1] *Les Profondeurs de l'Océan. Annuaire de* 1865, 2e édition.

dications pour les navigateurs. Les capitaines qui ont fourni ces observations, les ont étendues au delà de ce que contiennent généralement les journaux. Elles renferment les indications du psychromètre et la température de la surface de la mer. D'importantes remarques sur des points de théorie y sont fréquemment jointes, et nous voyons que les officiers qui les rédigent prennent un vif intérêt à la météorologie. M. Toynbée, comme autrefois le commandant Maury, à Washington, a su leur inspirer le zèle nécessaire au progrès de la science. « MM. les commandants des steamers, dit-il, sont entrés *con amore* dans l'œuvre. La discussion de bonnes observations, comme celles du capitaine Martyn, est pour moi un travail plein d'attrait (a labour of love). » Il y a beaucoup à espérer de la continuation de ces recherches.

Le système des *avis télégraphiques du temps* a fait quelques progrès remarquables cette année[1]. M. Toynbée a inventé un diagramme sur lequel on voit d'un seul coup d'œil la force et la direction du vent, et trois de ces appareils ont été placés dans les ports de Londres, Liverpool et Nord-Shields : il est probable qu'on les introduira partout. M. Robert Scott reconnaît que le système actuel ne peut être que d'une utilité restreinte pour les ports des côtes atlantiques, mais ces côtes heureusement ne sont pas celles qui sont les plus fréquentées par la marine anglaise. Comme la plupart des tempêtes, si ce n'est toutes, sont ressenties d'abord sur la côte occidentale d'Irlande, et qu'elles avancent toujours de l'ouest à l'est, les avertissements peuvent être donnés aux côtes orientales en temps utile. Des ports éloignés, comme Hambourg, par exemple, ont pu être le plus souvent prévenus longtemps avant qu'ils fussent atteints par la tempête. Sur 37 avis qui y ont été envoyés pendant le cours de l'année, 19 ont été suivis par des tempêtes, 9 par des vents très-forts et 6 par des changements de temps. Trois fois seulement les coups de vent ont précédé les avis.

Ce qu'il importe de reconnaître, ce sont les signes de l'approche des tempêtes, leur direction et leur vitesse. Pour faciliter cette connaissance, une série de navires servant de vigies ont été ancrés à l'ouest de la côte d'Irlande ; ce sont les observateurs placés

[1] Voy., sur l'organisation actuelle de ce service, l'article de M. Margollé dans le dernier *Annuaire*.

à leur bord qui donnent les premières indications; on les combine avec celles des stations côtières, et ensuite avec celles de l'intérieur pour en conclure la nature des bourrasques qui approchent. Il faut seulement tenir compte de ce que, pour la transmission de l'avertissement, il résulte un retard assez considérable de la nécessité de déterminer les particularités des phénomènes.

Un autre procédé relatif à la prévision du temps a été soumis à l'expérience par M. Robert Scott. C'est celui qui se fonde sur une loi nommée loi de Buys-Ballot, déjà indiquée dans le précédent *Annuaire*[1], et qui a été énoncée en ces termes par le savant directeur de l'Observatoire d'Utrecht : « Tournez le dos au vent dans nos latitudes moyennes, et vous aurez constamment une pression barométrique plus basse à votre gauche qu'à votre droite. » C'est du reste ce qui arrive dans les cyclones.

Les recherches de M. Robert Scott, exposées dans un mémoire détaillé[2], l'ont conduit à conclure que les probabilités relatives au temps qu'on peut tirer de ce principe sont assez faibles, et que cela tient à ce qu'on ne fait pas entrer en compte les différences de température. Considérant l'espace compris entre Valencia et le Helder, et entre Nairn et Rochefort, on trouve que toutes les fois que la différence des indications barométriques entre deux stations est, au matin, de $0^m,014$, la chance est de 7 à 3 pour qu'avant le matin suivant il éclate quelque part, dans l'étendue du réseau des stations anglaises, un coup de vent ayant une direction conforme à la loi de Buys-Ballot. D'autre part, la chance paraît être de 9 à 1 pour qu'aucune tempête n'apparaisse sans avoir donné des signes certains de son approche par une baisse de baromètre, même si la différence absolue observée n'avait pas atteint $0^m,014$. On arrive ensuite, en se servant d'une construction très-simple, à la probabilité de 60 p. 100 relativement à la détermination du lieu où la tempête doit éclater. « Mais, dit M. Robert Scott, si les résultats montrent que nous connaissons quelque chose du vent qui doit souffler par les différences de pression manifestées précédemment, nous ne savons pas combien d'heures après ces modifications le coup de vent éclatera, ni combien de temps il doit durer. Ce que nous savons, par

[1] *Progrès de la météorologie.*

[2] *An inquiry into the connexion between strong winds and barometrical differences.* Londres, 1868.

exemple, c'est que si le baromètre est plus haut en France qu'en Écosse, il est au moins extrêmement improbable qu'un coup de vent de l'est nous arrivera. La cause qui rend fautif ce moyen de prévision se trouve dans les irrégularités qui peuvent affecter, soit la direction, soit la vitesse du vent futur ; l'incertitude sur l'un de ces éléments déjoue tous les calculs.

Le savant météorologiste entrevoit une méthode qui donnerait probablement des résultats plus exacts que celle fondée sur la loi de Buys-Ballot. Elle lui a été suggérée par l'étude d'une collection de cartes synoptiques, dont quelques-unes lui ont paru se ressembler à très-peu près. Toutes les personnes qui ont observé avec quelque soin les différents aspects du temps ne se sont-elles, du reste, pas aperçues qu'il y a certains types de temps qui se reproduisent? On pouvait constater « un remarquable état de choses » le 22 janvier 1868. La Manche était traversée par un coup de vent d'ouest, tandis que sur l'Angleterre soufflaient des brises d'est. Un espace allongé, caractérisé par une dépression barométrique, se trouvait placé entre les deux courants, et un épais brouillard était signalé à Londres. Le lendemain, le baromètre s'éleva rapidement avec l'arrivée des vents du nord, et le surlendemain un terrible ouragan fondit sur l'Écosse, et y fit beaucoup de ravages. Or, le 8 décembre 1868, de semblables conditions de coexistence des deux courants, équatorial et polaire, se manifestaient et furent suivies, après le même intervalle de temps, par une tempête tout à fait analogue. Il faut, en outre, rapprocher la situation décrite ici de celle qu'on donne sous les tropiques, comme signalant le début d'un cyclone.

Une autre similitude de ce genre, prise dans la belle saison, est aussi citée par M. Robert Scott. Toutefois ce sont là de simples faits sur lesquels il désire en ce moment seulement appeler l'attention. « Aucune tentative d'explication théorique, dit-il, n'a été faite; la matière n'est pas mûre. Ce qu'il est surtout nécessaire que nous fassions, c'est de poser de solides pierres de fondation. Elles n'auront d'abord que peu d'apparence, mais elles sont destinées à supporter le poids de tout l'édifice de la science du temps, science à laquelle le nom de l'amiral Fitz-Roy restera toujours attaché à juste titre. »

Nous devons ajouter quelques mots sur une intéressante application de la météorologie, dont il a été question dans le bureau

de Londres. Les variations du baromètre modifient considérablement la ventilation dans les mines ; on a constaté que le passage de la partie centrale d'un cyclone, où la dépression est si grande, sur une mine, y détermine assez souvent les dangereux dégagements du grisou. De là ressort l'utilité d'un système d'avertissement spécial, et il est probable qu'il ne tardera pas à être mis en pratique.

Aux premières stations d'observation météorologique des îles Britanniques, de nouvelles ont été ajoutées ; en Angleterre, celles de Falmouth et de Stonyhurst, en Irlande, celles d'Armagh et de l'île de Valencia, qui se trouve être ainsi la plus occidentale. En Écosse, les universités de Glasgow et d'Aberdeen ont été pourvues de stations, et dès qu'on aura des fonds suffisants, on en établira une dans l'extrême nord de cette contrée. Un premier recueil de courbes fournies par les instruments-enregistreurs de ces observations a été publié et envoyé à un grand nombre de météorologistes, avec prière de faire parvenir au comité-directeur les remarques que la comparaison de ces courbes pourrait suggérer. M. Toynbée a composé un mémoire d'après quelques-unes de ces données : *de l'Usage des courbes isobariques et d'une ligne de plus grande variation barométrique pour prédire le temps*. Sur les quatorze diagrammes qu'il discute, les courbes sont tracées de 3 en 3 millimètres, et se trouvent par suite plus rapprochées que sur les cartes synoptiques de l'Observatoire de Paris. Ces diagrammes renferment également, outre les flèches pointées selon la direction du vent avec le chiffre de sa force à côté, l'indication des températures, et par l'emploi d'une très-bonne notation on distingue facilement la région dans laquelle la température est relativement haute. Une ligne droite pleine joint les lieux de plus haute et de plus basse pression ; elle porte au centre le chiffre de la différence, ainsi qu'une flèche placée dans la direction que la loi de Buys-Ballot assigne pour le vent actuellement dominant. Une ligne ponctuée joint le point où le baromètre a le plus haussé à celui où il a le plus baissé dans les vingt-quatre heures précédentes, et elle porte à son centre une flèche indiquant la direction du vent qui doit correspondre à cette différence. Voici comment ces lignes serviraient : « Si la ligne de plus grande variation (c'est le nom que l'auteur donne à la ligne ponctuée) a la même direction que la ligne pleine, de plus grande différence, et si leurs flèches vont dans

le même sens, il y aurait une indication d'accroissement dans la force du vent actuel; mais si les flèches vont en sens opposé, ce serait, au contraire, une diminution qui serait annoncée, et si la direction des lignes différait, on pourrait en déduire le sens dans lequel le changement de vent aurait probablement lieu. »

II

Atlas des mouvements généraux de l'atmosphère. — Région de l'anticyclone perpétuel. — Région du pôle de froid. — Rapports annuels sur les orages. — Importance agricole des cartes pluviométriques. — Météorologie de l'Europe. — Théorie mécanique des tempêtes. — Établissement central de Montsouris.

L'Atlas des mouvements généraux de l'atmosphère publié par l'Observatoire de Paris, a reçu cette année deux fascicules nouveaux comprenant chacun les cartes d'un trimestre de 1865, ce qui complète une année d'observations. Ces cartes ont été construites par MM. les astronomes Sonrel, Vincent et Baille, à l'aide des données des observatoires et des marins de la France et de l'étranger, dont les noms sont cités dans la préface. Ils renferment, outre les courbes d'égale pression barométrique s'étendant sur l'océan Atlantique et sur l'Europe, des signes particuliers qui font connaître si le ciel a été beau, nuageux, brumeux, couvert, pluvieux ou orageux, si la mer a été calme, peu agitée, agitée, houleuse, grosse ou furieuse. Une notice caractérise sur chaque carte la situation générale du jour, et prépare des éléments précieux pour une discussion générale de ces documents. « C'est par la considération de ces cartes successives, dit M. Le Verrier, qu'on espère atteindre les lois qui régissent les tempêtes, dans leur formation, leur transport vers l'orient et leur disparition plus ou moins rapide. »

Nous ne pouvons placer ici que de courtes remarques. Ce qui frappe en premier lieu dans cette suite de cartes, c'est l'existence permanente d'une région à haute pression (généralement de 770, 775 et même 780 millimètres), dans la partie centrale de l'Atlantique nord. Toujours traversée par le tropique du cancer, elle déborde vers le nord en été et vers le sud en hiver. Tout autour, dans tous les sens, les pressions s'amoindrissent, et un météorologiste anglais, M. Francis Galton, y voit un « anticyclone

perpétuel. » La direction des vents suit le circuit, mais dans un sens contraire à celui qu'on observe dans les cyclones de notre hémisphère. Au nord passent les tourbillons, avec plus ou moins de fréquence et de rapidité, depuis les côtes d'Amérique jusque sur le continent d'Europe, qu'ils abordent à une hauteur qui dépend des saisons. Mais où se forment-ils? Assurément tous ne sont pas des cyclones sortis des régions méridionales, qui, après avoir traversé les Antilles, viennent décrire la seconde branche de leur parabole. Il y en a dont la trajectoire semble venir du nord. Nous voyons de ce côté une région sur laquelle les cartes ne donnent malheureusement aucun renseignement, et qui renferme un centre météorologique important, le pôle de froid de l'île Melville, non loin de surfaces maritimes, à température relativement élevée, vers lesquelles l'air froid et dense, accumulé en ce point, doit se déverser par intervalles. Ce sont là des circonstances favorables au conflit des courants atmosphériques, et par suite à la naissance des tourbillons. La météorologie ne possède sur cette région que les journaux des expéditions arctiques, dont il y aurait à discuter les observations à ce point de vue. En attendant des expéditions nouvelles, et peut-être l'érection de quelques observatoires, on trouverait des éléments fort utiles à extraire des journaux d'un certain nombre de baleiniers, qui fréquentent encore le détroit de Davis et les parages voisins.

Dans la partie de l'Atlantique située au sud de la région à haute pression, règnent les alizés, mais, quelquefois, des cyclones la traversent et vont se jeter sur les Antilles. Les cartes publiées jusqu'à présent ne nous renseignent pas suffisamment sur ces phénomènes. M. Le Verrier nous fait espérer l'extension de la surface du globe embrassée par l'Atlas des mouvements de l'atmosphère. Ses efforts tendent à obtenir le concours nécessaire pour compléter le contour de l'hémisphère nord : il faudrait pour cela que l'Angleterre et la Russie se chargeassent de l'Asie, et les États-Unis de leur propre pays ainsi que de l'océan Pacifique.

Nous passons à l'examen de trois autres publications de l'Observatoire qui, sous le nom d'*Atlas météorologiques*, font suite à l'Atlas des orages dont nous avons parlé dans l'*Annuaire* de 1868. Les cartes du parcours des orages en forment toujours la principale partie : elles sont accompagnées chaque année d'une étude générale due à M. E. Fron. Parmi ses intéressantes con-

clusions, nous citerons celle-ci : « Si l'on examine chaque jour la situation de l'Europe, on voit se déplacer lentement, tantôt sur notre continent, tantôt sur l'Atlantique, de larges espaces à pression barométrique élevée, à brises faibles et variables. Froides pendant l'hiver, ces régions sont toujours exemptes d'orages ; chaudes pendant l'été, elles présentent seulement des orages locaux d'une durée et d'une étendue faible. Autour de cette région, formant pour ainsi dire un état tranquille, existe et se déplace avec elle une zone à pression faible ; c'est là que se succèdent les bourrasques. Pendant l'hiver, les pluies intenses seulement amènent des orages ; pendant l'été, presque toutes sont accompagnées de phénomènes électriques. Il y a donc lieu à distinguer d'abord parmi les orages ceux qui appartiennent aux diverses bourrasques. De plus, si l'on considère une seule bourrasque, la zone dans laquelle se meuvent les nuages orageux qu'elle entraîne étant généralement intermédiaire entre le centre et le pourtour, et formant un *anneau ou tore orageux*, peut passer sur la station, rencontrant celle-ci deux fois, d'abord par sa partie antérieure, puis par sa partie postérieure, et laissant entre les deux une période de calme, comme il arrive dans les cyclones. Il y a donc lieu aussi d'étudier à part les orages antérieurs et les orages postérieurs de chaque bourrasque. Enfin, les diverses nuées orageuses entraînées dans le mouvement général de la bourrasque subissent de plus l'action des accidents du sol ; elles se comportent alors comme un fluide gêné dans son mouvement d'entraînement et subissant les influences locales. »

Ces influences locales sont étudiées avec soin dans des notices jointes aux cartes des commissions départementales. Nous avons parlé de celle que M. Fournet a consacrée aux orages de la vallée du Rhône, et qui est un des derniers travaux de cet éminent météorologiste, dont les amis de la science déplorent vivement la perte. M. Poincarré, ingénieur des ponts et chaussées, a étudié pendant cinq années les orages du département de la Meuse, où il dispose des données de 156 stations d'observation. Il constate un remarquable contraste entre cette région et celle du Rhône. Ici une vaste vallée est séparée du bassin de l'Océan par de véritables montagnes, tandis que là on voit un amphithéâtre découpé par des gradins et des sillons de direction transversale à la marche habituelle des orages. L'envahissement de ces vallées par les

masses orageuses constituant un certain nombre de centres de formation aux lieux de partage situés entre plusieurs bassins, et la distribution des nuées dans la direction de ceux-ci, rappellent à l'auteur la marche d'une armée pénétrant dans un pays, et on n'est pas étonné de trouver fréquemment les noms historiques des défilés de l'Argonne dans son étude. Ses idées sur la formation de la grêle méritent d'être signalées : elles ont déjà été vérifiées par d'autres observateurs. Pour que ce phénomène se produise, il faut que deux lignes de nuées, passant à des hauteurs différentes, se croisent à angle droit ou à peu près droit. Ce croisement ne peut, en général, se maintenir longtemps. Les nuages inférieurs, c'est-à-dire les nuages à grêle proprement dits, tendent à s'échapper suivant une direction intermédiaire, ce qui fait que la grêle dure habituellement si peu.

L'Atlas de 1868 renferme une série de cartes de France couvertes de courbes qui indiquent la distribution des pluies année par année. Elles ont été construites par M. G. Rayet, qui a joint à chacune d'elles un rapport détaillé. Mais il y a encore, dans plusieurs parties du pays, des lacunes que M. Le Verrier s'applique à faire disparaître. L'Angleterre a environ 1,200 udomètres en place, tandis qu'en France nous en avons à peine 500. Le conseil de l'Association scientifique a voté la distribution gratuite de 100 udomètres dans la proportion de 1 sur 3 aux départements qui adresseraient la demande d'un certain nombre de ces instruments, dont le prix de revient est, d'ailleurs, fort modique (12 fr.). « Les travaux exécutés jusqu'à présent, dit M. Le Verrier dans une lettre adressée aux préfets et aux présidents des commissions météorologiques départementales, ont montré que la quantité de pluie qui tombe annuellement sur deux points voisins appartenant au même canton est souvent très-différente. La cause de ces différences réside dans le relief du sol, dans l'existence de collines ou de vallées dirigeant et accumulant les nuages en des points particuliers qui sont inondés de pluie, tandis que les localités séparées des premières par des collines de 60 ou 70 mètres d'élévation ne reçoivent qu'une quantité d'eau insignifiante. Ces remarques sont probablement la cause pour laquelle certaines cultures réussissent dans des cantons spéciaux et donnent des résultats médiocres dans des cantons voisins. L'agriculture a donc un intérêt considérable à ce que la distribution des pluies sur

la France soit étudiée et connue dans ses moindres détails. »

Un intéressant mémoire qui se rattache aux mêmes recherches et en montre la fécondité sous un autre point de vue, est celui de M. Belgrand, inspecteur des ponts et chaussées, l'ingénieur des travaux hydrauliques de Paris. Ce mémoire traite « du régime des pluies et des cours d'eau dans le bassin de la Seine à l'époque quaternaire, c'est-à-dire à l'âge de la pierre taillée et du mammouth. »

L'auteur d'un traité de météorologie estimé, M. A. Buchau, secrétaire de la Société météorologique d'Écosse, a rédigé un rapport sur l'ensemble des observations de l'Europe occidentale en 1868. Il est complété, en ce qui concerne la Norwége, par un autre rapport de M. Mohn, directeur de l'Institut météorologique de Christiania, qui a obtenu, dans ce pays, le concours de 270 observateurs distribués depuis le cap Linderness jusqu'à la frontière russe, et depuis la côte ouest jusqu'à la frontière suédoise. MM. Denza et Coumbary se sont chargés respectivement de la météorologie de l'Italie et de l'empire ottoman, et l'analyse, par M. Rayet, des observations faites à l'isthme de Suez sous la direction des ingénieurs du canal, a ajouté la connaissance de la météorologie d'un point très-important.

Signalons encore, dans le dernier Atlas, un excellent mémoire théorique de M. Peslin, ingénieur des mines, sur les mouvements généraux de l'atmosphère. Une recherche analytique le conduit à deux formules de la loi de décroissance des températures, se rapportant l'une à l'air non saturé et l'autre à l'air saturé de vapeur d'eau. Après les avoir comparées aux résultats de l'observation dans les zones tropicale et tempérée, ainsi qu'aux données recueillies en ballon, il établit les conditions de stabilité de l'équilibre atmosphérique. Une première application se présente dans les courants ascendants diurnes qui donnent naissance au phénomène des cumulus. Il s'agit de montrer aussi que les mêmes relations existent dans les tempêtes. La théorie actuelle de ces météores paraît incomplète en ce qu'on ne se rend pas compte des causes qui développent et entretiennent le mouvement tournant de l'atmosphère. M. Peslin démontre qu'il est impossible que l'aspiration se fasse, comme on l'a soutenu, par les parties hautes du tourbillon.

La théorie mécanique relative à un tourbillon conduit à une

équation, d'où l'on tire la valeur du travail moteur qui entretient ses rotations. En discutant cette valeur, M. Peslin arrive aux conclusions suivantes : 1° un tourbillon qui se propage dans une atmosphère y trouvera d'autant plus d'aliments pour entretenir sa violence, que la loi de décroissance des températures y sera plus rapide. Si la loi de décroissance est plus lente que la loi théorique relative à l'air saturé, l'atmosphère jouit d'une stabilité absolue, et le tourbillon y est amorti au bout d'un faible parcours. Si la loi de décroissance est plus rapide que la loi théorique donnée par l'air non saturé, l'atmosphère est dans un équilibre instable, et le moindre tourbillon produit une immense perturbation. Si la loi est intermédiaire, ce qui est le cas ordinaire pour l'atmosphère terrestre, les tourbillons d'une amplitude suffisante trouvent passage et peuvent conserver leur violence ; mais ceux qui ne s'étendent que sur une faible hauteur seront arrêtés ou amortis ; 2° toutes choses égales, d'ailleurs, le travail moteur créé par le tourbillon et qui entretient sa violence, est d'autant plus grand que l'air de l'atmosphère où il se propage est plus près du point de saturation.

On fait voir facilement, d'après cette dernière proposition, comment les pluies qui accompagnent les tempêtes sont si abondantes. Ces pluies naissent quand le point de saturation est dépassé, quand le travail correspondant au mouvement ascendant de l'air devient moteur. Leur quantité est la différence entre le contenu de vapeur dans l'air aspiré et dans l'air rejeté. Par suite de la grande hauteur de la tempête la température varie dans l'intervalle de 20 à 30°, et l'air ne peut plus retenir que le tiers, le quart ou une fraction plus petite de sa vapeur.

A la suite de la citation de plusieurs observations confirmatives de sa théorie, M. Peslin explique ainsi un fait anciennement connu qui s'y rattache : « Les marins ont dit depuis longtemps que le *Gulfstream est le père des tempêtes* de l'Atlantique nord, et les documents recueillis par l'observation ont constaté que la plupart des ouragans traversent l'Atlantique le long de ce grand courant, et ne divergent vers le nord ou le sud qu'en abordant les côtes occidentales de l'Europe. A quoi tient cette constance de la route suivie sur l'Atlantique ? L'atmosphère, au-dessus du Gulfstream, est dans les régions basses plus chaude et plus chargée de vapeur d'eau que l'atmosphère qui s'étend soit au nord, soit

au sud ; les brouillards qui le couvrent généralement en hiver en sont une preuve. Les régions supérieures des deux atmosphères doivent, d'une part, être à peu près dans le même état, l'influence du Gulfstream ne pouvant s'étendre à une très-grande hauteur en présence de l'alizé et du contre-alizé. Nous trouvons donc réunies, au-dessus de ce courant, les deux conditions principales qui favorisent le passage des tempêtes, qui entretiennent leur mouvement : la rapide décroissance des températures et l'état hygrométrique de l'air voisin du point de saturation. Une tempête ordinaire qui ne trouverait passage ni au nord, ni au sud du Gulfstream, qui serait amortie avant d'avoir pu traverser l'Atlantique, pourra, en suivant la direction du courant, aborder les côtes d'Europe. »

Nous pouvons attendre de rapides progrès dans l'étude de la météorologie et de la physique du globe de l'établissement météorologique central de Montsouris, dont la fondation est un des actes les plus utiles de M. le ministre Duruy. L'idée de cette création est émanée de la Société météorologique de France, et principalement de son président, M. Charles Sainte-Claire Deville. Voici quelques détails sur la manière dont elle a été réalisée.

Depuis le commencement de 1867, la publication du recueil mensuel, les *Nouvelles météorologiques*, que notre dernier *Annuaire*[1] a fait connaître, préparait les relations générales sur lesquelles la nouvelle institution devait s'appuyer. Une commission prise dans le sein de la Société, et dont le secrétaire était M. Marié-Davy, fut chargée de faire appel au concours de tous les météorologistes de l'Europe et de provoquer, entre les divers observatoires ou sociétés météorologiques, un échange régulier, à très-bref délai, de leurs documents principaux. La proposition fut accueillie partout avec empressement. Au moment où M. Duruy fut informé de l'existence de ces favorables dispositions, il venait de recevoir le rapport de la commission de réorganisation de l'Observatoire astronomique, qui insistait vivement sur la nécessité de séparer l'astronomie de la météorologie, et il chargea aussitôt le président de la Société météorologique de préparer, dans un rapport spécial, le plan de l'organisation d'un établissement central de la météorologie et de la physique du globe.

[1] *Progrès de la météorologie.*

D'un autre côté, l'administration municipale parisienne offrit un très-bel emplacement pour cet établissement nouveau dans le parc de Montsouris, qu'elle songeait à créer au sud de Paris, sur le versant occidental de la vallée de la Bièvre, près des portes d'Arcueil et de Gentilly. La position était exceptionnellement favorable pour un observatoire météorologique, car les fortifications et le parc lui-même empêchaient la construction de maisons jusqu'à une grande distance, et le versant nord était entièrement libre et en pente douce. L'administration municipale proposa aussi de céder une construction toute prête, le palais du bey de Tunis, qui avait figuré à l'Exposition universelle, en s'engageant à approprier le bâtiment à sa nouvelle destination par la construction d'un étage inférieur et d'un sous-sol.

Le rapport de M. Ch. Sainte-Claire Deville entre dans beaucoup de détails sur les questions administratives concernant l'organisation de l'établissement central, mais nous nous bornerons à résumer ici ce qui est relatif aux travaux scientifiques qu'on devra y exécuter.

L'Observatoire météorologique spécial, si bien situé pour mettre les instruments à l'abri de l'influence d'une grande accumulation d'habitants, sera un modèle pour les institutions analogues de la France. Ses recherches d'observation comprendront : 1° la thermométrie ; 2° la barométrie ; 3° l'hygrométrie ; 4° l'atmidométrie, ou mesure de l'évaporation du sol ; 5° la pluviométrie ; 6° l'ozonométrie ; 7° l'électrométrie ; 8° la magnétométrie ; 9° l'héliométrie, comprenant l'étude de l'influence variable de l'atmosphère ou des milieux interplanétaires sur la quantité et la qualité des radiations solaires ; 10° l'anémométrie ; 11° la néphéloscopie, ou l'étude des nuages et la mesure du degré de sérénité du ciel ; 12° l'observation des étoiles filantes et bolides ; 13° la scismométrie, qui concerne les tremblements de terre ; 14° l'observation de l'époque précise de la feuillaison, de la floraison et de la fructification des plantes ; 15° celle des migrations, apparitions ou disparitions des animaux voyageurs ; 16° enfin la recherche des influences périodiques ou non périodiques sur l'homme, les animaux et les plantes.

L'emplacement de Montsouris est, en outre, très-favorable pour les expéditions aérostatiques, soit en simple ballon captif, soit en ballon libre, qu'on fera pour connaître les variations qui

se produisent dans l'atmosphère à des hauteurs plus ou moins grandes.

Un laboratoire servira aux analyses chimiques ou mécaniques de l'air atmosphérique et des gaz contenus dans le sol, des eaux météoriques ainsi que des eaux superficielles et profondes. On fera des recherches, à l'aide du microscope ou par des procédés de fermentation sur les poussières d'origine minérale ou organique entraînées par l'air et par les eaux. Le rapporteur indique, à ce sujet, le grand intérêt qu'il y aurait à s'assurer, par des expériences précises et continues, si l'air est ou non en rapport pour les corps microscopiques qu'il transporte avec les épidémies qui frappent l'homme, les animaux, les plantes, et dont nous avons vu tant d'exemples depuis le commencement de ce siècle.

Aux observations locales se joindra un travail de discussion de tous les documents météorologiques que l'établissement recevra de différentes sources, des stations terrestres, des flottes militaires et commerciales; des groupes organisés ainsi que des observateurs isolés. On s'occupera non-seulement des données actuelles et de celles des années immédiatement antérieures, mais on poursuivra l'étude des époques plus anciennes en réunissant les registres qu'on pourra découvrir dans les archives des villes et dans diverses sociétés savantes. Le rapport affirme que des matériaux très-précieux, pour la météorologie rétrospective, se trouvent encore dans beaucoup de châteaux et d'anciens monastères.

« Tous les résultats d'observation ou de discussion obtenus par le Bureau central, dit M. Sainte-Claire Deville, seront toujours examinés au point de vue de leurs applications immédiates ou ultérieures à l'hygiène, à l'agriculture, à l'industrie, à la navigation. Il serait impossible d'assigner dès maintenant les diverses formes que pourra prendre cette partie importante de notre établissement, suivant les ressources en matériel et en personnel dont il pourra disposer. Il nous suffira de dire que si elles égalaient le zèle de nos fonctionnaires, aucune administration publique, et même aucun intérêt privé respectable n'adresserait au Bureau la demande d'un renseignement relatif aux applications de la météorologie, aux besoins sociaux sans recevoir une réponse. Celle-ci pourrait affecter une forme isolée; mais, le plus souvent, elle serait implicitement comprise dans des communications périodiques régulièrement envoyées aux intéressés. »

Dans le programme des publications projetées, nous signalerons particulièrement celle d'un *Atlas physique universel*, qui présenterait, d'abord pour la France, puis pour le globe entier, dans de nombreuses cartes accompagnées d'un texte explicatif, l'état des connaissances actuelles en géographie, en physique terrestre, en géographie botanique et zoologique, en économie agricole et industrielle, en physique sociale.

En attendant l'achèvement des édifices définitifs, une installation provisoire, dans un local disponible sur l'emplacement même du parc de Montsouris, a permis de commencer, sous la direction de M. Ch. Sainte-Claire Deville, une série préparatoire d'observations météorologiques depuis le commencement de juin. Elles sont consignées dans un *Bulletin quotidien* et comprennent, pour huit heures de la journée : la pression barométrique ; la température indiquée, à l'ombre et au soleil, par des thermomètres fixes et des thermomètres frondes ; les températures maxima et minima indiquées, à l'ombre et au soleil, par des thermomètres à boule nue, à boule recouverte de platine et à boule noircie ; la température du sol à $0^{m},10$ de profondeur et celle de la couche d'air située à $0^{m},10$ au-dessus du même sol gazonné ; les conditions hygrométriques, les quantités de pluie tombée, l'état du ciel, l'observation du vent, etc. ; des mesures actinométriques et l'observation de l'action chimique de la lumière diffuse. Des remarques très-détaillées sur l'état du ciel et tous les phénomènes accessoires ou accidentels de l'atmosphère sont données au verso de la feuille. « Cet ensemble d'observations, dit M. le président, ne pouvait être obtenu et publié immédiatement, avec les faibles ressources pécuniaires disponibles, sans le dévouement et le désintéressement du jeune personnel distingué qui, ayant foi dans l'œuvre, a voulu s'y consacrer entièrement, et auquel je suis heureux de rendre justice et reconnaissance. »

Le *Bulletin quotidien* renferme aussi les observations faites dans trois stations circumparisiennes : Versailles, Saint-Maur et Aubervilliers, dont la comparaison avec Montsouris permet de définir exactement le climat parisien en éliminant les influences purement locales. La pluie et la zone sont données pour quinze stations municipales. Le ministère de la marine communique tous les jours les observations faites le matin même dans les six sémaphores de Grisnez (Calais), pointe Saint-Mathieu (Brest), île d'Aix

(Rochefort), Groix (Lorient), et Sicié (Toulon). Enfin le *Bulletin* publie les dépêches envoyées en France par M. Robert Scott, directeur du *Meteorological Office* d'Angleterre, lorsqu'une tempête menace l'Europe. Des prévisions sur la marche probable du thermomètre y ont été jointes depuis quelque temps.

Les savants étrangers voient tous avec un vif plaisir la fondation d'un établissement météorologique central en France, avec lequel ils nouent des relations amicales. Plusieurs d'entre eux ont visité la modeste installation provisoire et ont pu se rendre compte des avantages que présentait l'emplacement réservé pour l'avenir aux instruments. Enfin de très-nombreux échanges témoignent de l'intérêt qu'inspirent les publications de l'établissement naissant. Les dons des particuliers sont même venus aider le président dans la lourde tâche qui lui était imposée, et nous pourrions citer, à cet égard, M. Dollfus-Ausset, dont le zèle scientifique ne connaît pas de bornes.

Aujourd'hui les aménagements intérieurs et extérieurs sont assez avancés pour que, dès le 1er décembre, l'installation prenne un caractère définitif et commence à rendre tous les services qu'on doit attendre d'une organisation qui, appuyée sur les procédés scientifiques les plus exacts, a surtout été créée en vue du grand mouvement qui entraîne aujourd'hui tous les esprits d'élite vers l'accroissement, si important, du bien-être commun, par l'extension de nos connaissances, et, par suite, de nos moyens d'action sur la nature.

F. Zurcher.

BIBLIOGRAPHIE.

Les Voyages aériens, par MM. Glaisher, Flammarion, W. de Fonvielle et G. Tissandier. 1 beau volume illustré. — Hachette, 1870.

Le nom de cet ouvrage est très-bien choisi; ce n'est pas, à proprement parler, un livre de science, ce n'est pas un traité de la navigation aérienne, c'est un récit des voyages qu'ont exécutés chacun des auteurs. La lecture en est facile et attrayante; les illustrations sont nombreuses et fort jolies, bien qu'on puisse leur reprocher une certaine monotonie, et que les dessinateurs, malgré leur talent incontestable, n'aient pu donner qu'une idée approchée des merveilles que le ciel réserve à ceux qui ont le goût des voyages aériens.

Le côté anecdotique domine. On suit d'abord avec un vif intérêt M. Glaisher dans ses nombreux voyages, et notamment dans sa célèbre ascension du 5 septembre 1862, où il s'éleva à 11,000 mètres, tomba évanoui dans sa nacelle et ne dut la vie qu'à son aide, qui, à moitié paralysé par le froid, ayant perdu l'usage de ses mains, saisit la corde de la soupape avec ses dents et put ainsi déterminer la descente dans une région moins froide; plus loin on prend plaisir à parcourir la France avec M. Flammarion, de Paris à Angoulême, ou de Paris aux bords du Rhin. On admire ensuite le courage de M. Tissandier, s'embarquant à Calais avec M. Duruof, et tirant des bordées au-dessus de la mer du Nord, pour venir descendre au cap Grisnez; ou partant dans le grand ballon *le Pôle-Nord*, sans aéronaute de profession; on apprécie l'esprit inventif de M. W. de Fonvielle, qui, passionné à la fois pour l'astronomie et l'aéronautique, a voulu monter au-dessus des nuages qui couvrent habituellement notre ciel parisien, le 14 novembre, au moment où se présente un maximum dans le nombre des aérolithes qui traversent le ciel, pour pouvoir suivre plus complétement ce remarquable phénomène.

Le lecteur qui aime la science, qui ne se contente pas des précédents récits, et qui veut des résultats positifs, les rencontrera dans l'appendice placé à la fin du volume; il y verra l'observation importante de M. Glaisher sur l'existence de courants d'air chauds venant du sud-ouest et amenant à la brumeuse Angleterre de la chaleur empruntée aux tropiques; il y lira avec intérêt le Mémoire de M. Flammarion sur la présence, à une certaine hauteur, d'une couche d'air très-humide qu'il faut traverser pour atteindre bientôt après, une atmosphère très-sèche dans laquelle les rayons du soleil frappent sans miséricorde l'aéronaute que ne protége plus l'écran formé par la couche de vapeur transparente des basses régions. Ainsi qu'on l'a déjà observé dans les ascensions de montagne, on rencontre, dans les régions supérieures, un froid très-vif et un soleil très-puissant, de telle sorte qu'on peut être gelé d'un côté, et de l'autre atteint d'insolation.

Écrits avec animation, remplis de descriptions attrayantes, brillamment illustrés, *les Voyages aériens* nous paraissent être un des livres d'étrennes destinés cette année à un succès mérité.

P.-P. D.

BOTANIQUE

ET PHYSIQUE VÉGÉTALE

LA DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES ESPÈCES VÉGÉTALES

CONSIDÉRÉE DANS SES RAPPORTS AVEC LA DOCTRINE DARWINIENNE

D'après les récents travaux de M. Dalton-Hooker sur la Flore des îles océaniques.

Les nouvelles observations sur les flores insulaires dues à l'illustre auteur de la *Flore antarctique*, nous ont suggéré l'idée de résumer ici les principaux faits de distribution géographique explicables par la théorie de Darwin, en insistant plus particulièrement sur les plus difficiles à pénétrer, c'est-à-dire sur ceux qui sont relatifs aux îles éparses au sein de vastes mers.

De tous les phénomènes de répartition à la surface des terres ou dans l'intérieur des eaux douces ou salées, les plus nombreux comme les plus importants, et souvent même, les plus bizarres s'expliquent généralement par des causes antérieures à l'époque géologique moderne. La distribution actuelle des faunes et des flores est évidemment une conséquence de la distribution qui régnait aux âges précédents et dont les modifications ont été parallèles à celles des conditions climatériques comme à celles qui survinrent si fréquemment dans les connexions des surfaces terrestres, et par suite dans la facilité des échanges. C'est à ces influences anciennes qu'il faut attribuer certains faits de grande valeur longtemps jugés inexplicables et tels que : 1° la disjonction actuelle si étrange de quelques espèces ; 2° les dissemblances de végétation qui s'observent entre des pays analogues de climats

ou rapprochés sans être contigus; 3° les parentés qu'on constate entre les flores de localités fort éloignées aujourd'hui et sans communications faciles, etc.

La géologie et la géographie botanique se prêtent d'ailleurs des lumières réciproques. La grande extension de certaines espèces confirme leur extrême ancienneté déjà admise sur les preuves paléontologiques et le plus souvent en accord avec l'infériorité de l'organisation et la lenteur des modifications organiques. La place qu'occupent aujourd'hui les derniers représentants des types anciens nous instruit sur la nature de leur habitat à l'époque où ils florissaient, et même sur l'état général de notre globe lorsqu'ils en recouvraient de vastes étendues sous toutes les latitudes, ainsi que cela a eu lieu à l'époque houillère pour les Fougères et les Lycopodiacées arborescentes. La démarcation actuelle des faunes et des flores révèle les limites des anciens continents, comme les analogies de structure entre les habitants de contrées aujourd'hui profondément séparées, constituent des présomptions d'anciennes connexions ou au moins de moyens de transport qui ne sont plus de nos jours en activité. C'est ainsi que l'archipel malais doit être, selon Wallace, divisé en deux groupes distincts au point de vue géologique : l'un se rattachant à l'Indo-Chine et l'autre à l'Australie; or cette différence d'origine des terres est confirmée par la comparaison non-seulement des faunes et des flores, mais encore par celle des races humaines elles-mêmes. La végétation d'une chaîne de montagnes nous éclaire souvent aussi bien sur son âge que sa structure géologique : ainsi l'abondance, au sommet des Alpes, des Composées et d'autres végétaux supérieurs, inconnus dans les anciennes couches géologiques, suffirait à prouver que cette chaîne est de formation récente. Enfin le mélange, dans les régions tempérées, des flores des latitudes extrêmes; l'analogie frappante des productions alpines et arctiques contrôlent les grandes alternances de climat admises par le géologue.

C'est une des conséquences de la doctrine de Darwin de substituer à la théorie de la création indépendante de chaque type dans chacune des diverses localités où il se rencontre, celle plus facile à justifier, des migrations et des colonisations ayant comme auxiliaires les facultés d'adaptation des colons à leur nouvelle patrie, et de résistance à la concurrence des premiers occupants. Les diverses espèces d'un même genre n'ont pas été créées en chaque

point où elles se trouvent, et quoique distribuées dans les contrées du monde les plus distantes et les plus séparées aujourd'hui, elles sont bien probablement issues d'un berceau unique. En général d'ailleurs, plus la parenté de deux formes est étroite et plus ces formes sont rapprochées à la fois dans le temps et dans l'espace; et si dans quelques points certains êtres sont par leur nature physiologique en contradiction avec les caractères de leur habitat, cette anomalie peut toujours s'expliquer par des changements survenus dans les conditions physiques depuis l'apparition ou l'immigration des espèces.

Les bases fondamentales de la doctrine darwinienne étant généralement admises aujourd'hui, nous devons seulement, dans cet article, nous attacher à démontrer qu'un type né dans une localité a pu s'étendre par diverses voies dans des points plus ou moins éloignés de la région mère : l'influence de l'homme étant évidemment mise à part pour ce qui concerne les migrations actuelles. Après avoir énuméré les principaux agents de dissémination qui sont encore de nos jours en activité, nous insisterons particulièrement sur les effets à la fois si puissants et si universels de la période glaciaire, et, dans les applications que nous citerons chemin faisant, nous prendrons de préférence nos exemples dans les localités les plus récemment explorées.

I

Principaux agents de dispersion et de transport des espèces. — Vents, animaux migrateurs, courants marins. — Curieuses particularités de structure favorables à la dissémination. — Moyens de dispersion peu connus des productions d'eau douce. — Absence d'animaux terrestres dans les îles océaniques. — Distribution des espèces de formation relativement récente.

De toutes les causes de dissémination, le vent est celle qui agit le plus fréquemment sur toute la surface d'un même pays ; mais sa puissance est quelquefois telle qu'il aide à franchir les obstacles invincibles pour d'autres moyens d'émigration. Si les cendres du Vésuve ont pu être portées jusqu'à Constantinople, si celles de l'Hécla ont pu atteindre (1845) le canal Saint-Georges, il est permis d'admettre que certaines semences très-petites comme celles de la plupart des Papavéracées, des Fumariacées, Primulacées,

Amarantacées, etc., et surtout comme les spores de Cryptogames peuvent être portées d'un continent à une île ou d'un continent à l'autre ; ce serait même là une des raisons de la diffusion si remarquable des nombreuses espèces de ces derniers végétaux. Dans les pays montueux, le vent pousse les graines par-dessus les collines et à travers les gorges de montagnes : dans les Andes, par exemple, M. Boussingault a vu des graines s'élever jusqu'à 1,800 mètres et retomber dans le voisinage. Les mers de Chine, des Antilles, des Mascareignes sont fréquemment jonchées d'arbres entiers arrachés à la côte par d'effroyables ouragans : les fruits ou les graines arrivent ainsi assez souvent à rencontrer un courant marin qui, suivant sa direction, les déporte dans une terre plus ou moins éloignée.

Le vent peut même dans certains cas servir de véhicule à des corps aussi pesants que la moyenne des graines. En 1828, le sol de certaines parties de la Perse et de l'Anatolie fut couvert de cinq à six pouces d'épaisseur d'une substance tombée du ciel, et qui n'était autre chose qu'un amas d'innombrables individus d'un Lichen comestible : la manne des Hébreux n'a probablement pas d'autre origine. Dans l'Inde, il n'est pas rare de voir des poissons apportés de la mer par des tourbillons, et dans beaucoup de régions côtières, des insectes ailés et même des oiseaux rejetés au large par des coups de vents.

Comme en prévision de la possibilité de transport par le vent, beaucoup de graines ou de fruits se montrent munis d'ailes, d'aigrettes ou de chevelures à la manière des Chardons, des Pissenlits, de l'Épilobe, de la Valériane, etc. Le nombre des espèces ainsi adaptées à la dissémination est même souvent très-considérable dans diverses familles : ainsi on en compte quarante dans les Onagraires, soixante dans les Oléacées, quatre-vingts dans la famille des Scabieuses, cent douze dans les Valérianes, cent cinquante dans les Rubiacées, trois cent quatre-vingt-dix dans les Malpighiacées, cinq cents dans les Bignoniacées, et enfin sept mille six cents dans l'immense famille des Composées.

D'autres corps reproducteurs sont munis de poils roides, aigus et même de crochets souvent disposés en forme de véritables hameçons : tels sont notamment les Tragus, les Bidens, les Xanthium, le petit Rumex, certaines Malvacées. Quelques espèces ainsi douées, telles que le Tribule terrestre et l'Argémon mexicain s'éten-

dent, évidemment grâce en partie à ce détail de structure, sur plus du tiers de la surface du globe. Il est certes peu de relations d'organisme à organisme qui soient aussi frappantes qu'une telle adaptation des graines à un transport occasionnel. Les semences de plusieurs grandes espèces de Chardons d'Espagne ont été apportées dans les Pampas du Brésil méridional par les Moutons dans la laine desquels elles s'étaient fixées; ces Composées s'y sont même développées au point d'étouffer presque complétement les familles indigènes.

Chez le Gui, l'Ononis penché, la Pisonie épineuse, quelques espèces de Nyctaginées, la viscosité joue le même rôle que les poils aigus et les crochets dont nous venons de parler.

Les Oiseaux sont à juste raison considérés comme des agents très-actifs de dissémination. Les graines dures et les fruits à noyaux traversent sans altération leur appareil digestif. Certains oiseaux de proie avalent leur proie entière et après douze ou vingt heures dégorgent de petites pelotes renfermant des graines propres à la germination. Les poissons d'eau douce ingurgitent les semences de beaucoup de plantes terrestres ou aquatiques; or ces poissons étant fréquemment dévorés par des Hérons, des graines peuvent ainsi être transportées dans d'autres eaux où ces oiseaux vont s'abattre.

Le sol, et notamment celui des forêts, est presque partout mélangé de graines, des parcelles de ce sol adhérent fréquemment aux pattes des oiseaux : une fois M. Darwin retira de l'un des pieds d'une perdrix soixante et un grains et une autre fois vingt et un. La vase des étangs est dans le même cas et souvent beaucoup plus riche; dans trois cuillerées de boue visqueuse prise au fond de l'eau, le même observateur retira jusqu'à cinq cent trente-sept graines appartenant à beaucoup d'espèces différentes : or les Echassiers qui fréquentent les rivages marécageux des étangs, venant soudain à être mis en fuite, s'envolent les pieds enduits de cette boue visqueuse ; ce sont en outre généralement de grands voyageurs, car on les a parfois trouvés jusque sur les îles les plus éloignées en pleine mer; il serait donc bien étonnant que ces oiseaux aquatiques ne transportassent pas les semences des plantes d'eau douce à de grandes distances. La même intervention, ainsi que le fait remarquer Darwin, peut avoir agi aussi efficacement à l'égard des œufs des animaux d'eau douce. Les Canards qui émer-

gent des étangs couverts de Lentilles d'eau emportent dans leur vol quelques-unes de ces plantes adhérentes à leurs plumes; or il est très-fréquent de voir de nombreuses petites coquilles de Lymnés, de Planorbes, de Paludines ou d'autres très-jeunes Mollusques ramper à la surface des Lentilles d'eau, au milieu d'amas de frai. Ainsi que l'affirme M. Lyell, les Insectes aquatiques eux-mêmes peuvent aussi transporter au loin les Mollusques d'eau douce.

Les Mammifères, les Oiseaux et les Insectes migrateurs aident encore puissamment à la dispersion des plantes en transportant dans les diverses stations de leurs voyages les fruits visqueux et les fruits munis de pointes ou de crochets qui se sont fixés accidentellement à leurs corps ; mais cette appropriation remarquable à la dissémination à grandes distances a produit des effets incomparablement plus sensibles depuis que l'homme déploie son activité envahissante à travers toute l'étendue des terres et des mers. Le lest, les cargaisons des navires, les mammifères dont il s'accompagne ont été, la plupart du temps à son insu même, les véhicules d'une multitude de graines. Un exemple frappant nous est offert par un lieu célèbre dans les fastes de la botanique, le port Juvénal, près de Montpellier, où se sont développés un grand nombre de végétaux curieux étrangers au pays. Or cette flore anomale, composée de près de quatre cents espèces, doit exclusivement son origine à des laines apportées des diverses parties du monde et qu'on lave dans cette localité.

Il n'y a pas à insister sur des causes de migration et sur des moyens de dispersion aussi évidents que ceux qui résultent soit des modifications de climats, soit de ces changements de niveau du sol qui réussissent à établir des connexions plus ou moins larges entre des surfaces jadis séparées et qui permettent ainsi aux productions terrestres de passer des unes aux autres. L'histoire géologique fourmille d'exemples de ces variations dans les rapports des terres: l'analogie entre les formes vivantes des îles côtières et des continents dont elles sont satellites, s'explique naturellement par des liaisons de cette sorte remontant à des époques plus ou moins anciennes.

Les courants marins sont des agents de transport dont personne n'est plus disposé à nier l'efficacité. Ils jouent sur la vaste surface des océans un rôle distributeur comparable à celui des torrents et des fleuves à travers les terres continentales. A l'exem-

ple de ceux-ci, ils charrient des troncs d'arbres entiers souvent encore chargés de leurs fruits ou bien emprisonnant dans leurs racines enchevêtrées une multitude de graines empruntées au sol natal; ils transportent encore de simples fruits détachés et jusqu'à des graines nues.

Or beaucoup de graines sont précisément remarquables par leur résistance à l'action de l'eau. Ainsi M. Dureau de la Malle cite un fait d'après lequel des graines de moutarde et de bouleau conservent leur vitalité après vingt ans d'immersion dans l'eau douce. M. Godron a observé dans le voisinage d'étangs salés, des graines de graminées qui germaient après être restées sous l'eau durant tout un hiver; M. Darwin après avoir soumis quatre-vingt-sept espèces à l'eau salée, en trouva soixante-quatre qui germèrent parfaitement après une immersion de vingt-huit jours, et quelques-unes qui allèrent jusqu'à supporter un contact prolongé pendant quatre mois et demi. Les énormes graines en forme de haricots de l'*Entada scandens* transportées par le Gulfstream, de l'Amérique équinoxiale sur les grèves des Açores, ne perdent pas leur vitalité pendant ce long trajet de quinze cents lieues au milieu de la mer, car une caisse de ces graines ayant été envoyée à Kew, beaucoup y germèrent et produisirent même de beaux sujets. Les fruits à enveloppe ligneuse et dure ne cèdent aussi pour la plupart à l'action nuisible de l'eau de mer qu'au bout d'un long séjour. Comme par une sorte d'adaptation au transport par voie aquatique, ce sont surtout les plantes maritimes ou du littoral qui possèdent des graines à test dur, coriace et peu facile à ramollir.

L'*Entada scandens* et le Coco des Maldives sont des exemples désormais classiques de transport par les courants maritimes. Au reste, depuis la publication des beaux travaux de Maury et de ses émules, on peut affirmer qu'il n'est pour ainsi dire pas une seule région de la mer qui ne soit sillonnée par un de ces fleuves, et qu'il n'est pas deux terres plus ou moins éloignées l'une de l'autre entre lesquelles ne s'étende au moins une de ces vastes artères à parois liquides par l'intermédiaire desquelles la vie circule dans les sens les plus divers et se transporte aux plus grandes distances. Grâce aux courants marins, l'Océan ne semble pas être ou avoir été un obstacle plus grand que la même étendue de terre. On peut donc expliquer en partie les analogies de flores

constatées entre des terres séparées par des étendues d'eau plus ou moins considérables. Ce sont surtout ces agents qui approvisionnent les îlots de Corail, qu'aucun naturaliste ne suppose avoir jamais été reliés à aucun continent.

Ces mêmes courants, seuls ou associés aux moyens occasionnels de transport, doivent, dans les migrations transocéaniques, avoir joué un plus grand rôle que les anciennes extensions de terres et les connexions plus ou moins hypothétiques des îles avec les continents : l'influence prépondérante de celles-ci s'accorderait mal, en effet, à la fois, avec la pénurie des îles océaniques en espèces, genres ou familles qui florissent sur les terres continentales dont on suppose que ces îles sont issues, comme avec l'absence complète des classes d'animaux pour lesquelles un transport à travers la pleine mer est totalement impossible. Les Chauves-Souris, les Oiseaux, les Insectes, et en général toutes les espèces voyageuses qui ne se laissent pas intimider par la distance à parcourir, sont les seules qui se trouvent en plus ou moins grande quantité dans les îles océaniques; mais on n'y trouve aucune trace de Mammifères et de Batraciens terrestres. Ces classes absentes y sont même suppléées par d'autres, comme aux Galapagos, par des Reptiles spéciaux, et à la Nouvelle-Zélande par ces Oiseaux massifs et gigantesques, malheureusement à tout jamais détruits par les naturels. De même, on constate que Madère ne renferme aucun Oiseau terrestre.

L'efficacité des divers moyens de transport, qui s'accuse ainsi d'une manière indirecte par l'importance si considérable des barrières naturelles constituant autant de lignes de démarcation des diverses provinces zoologiques ou botaniques, se révèle encore à nous par le fait suivant. Les espèces qu'on juge de formation récente, telles que les Phanérogames gamopétales à ovaire infère et à structure compliquée (Composées, Campanulacées, Apocynées, Asclépiadées, etc.), n'ont pas pu profiter des moyens de dispersion que les divers changements géologiques ont mis à la disposition des formes de structure plus simple et d'apparition plus ancienne; aussi voit-on leur proportion, dans chaque flore locale, diminuer à mesure qu'on franchit un nombre plus ou moins grand de bras de mer. Ajoutons que, lorsque entre deux vastes régions continentales se trouvent intercalés plusieurs archipels, on constate, le plus souvent, que les diverses îles de ceux-ci ont servi de

lieux de relâche pour la dissémination de proche en proche des espèces de l'une à l'autre, pendant le cours prolongé des temps.

Par l'effet de l'activité, variable avec le temps, des diverses causes de dispersion, on s'explique pourquoi la flore d'une île océanique est toujours manifestement alliée à quelque flore continentale ou insulaire plus ou moins distante. Le fait est incontestable pour les îles telles que Ceylan, le Japon, la Grande-Bretagne, Terre-Neuve, etc., que l'on considère avec raison comme des prolongements de grandes terres et dont la majeure partie des espèces sont identiques ou au moins alliées à celles du continent le plus proche. Les Açores, bien qu'à 740 milles du Portugal, possèdent des espèces, telles que diverses bruyères, qui se retrouvent dans les montagnes de la péninsule espagnole, et, bien qu'à 1,035 milles de Terre-Neuve, elles accusent l'influence du nouveau monde par une espèce d'Ombellifère. A Madère, le cachet européen domine en dépit de l'abondance des Dragonniers, qui s'explique par le voisinage de l'Afrique ; de même les Cléthra et les Persea y révèlent des immigrations américaines.

Les glaces flottantes, comme chacun sait, transportent à leur surface des blocs énormes de pierre accompagnés de masses terreuses fréquemment riches en graines variées. Celles-ci, souvent enchâssées dans la glace elle-même, sont garanties par le froid contre la germination. La fusion vers les latitudes basses les dépose sur des terres plus ou moins éloignées du point de départ ; on réussit le plus souvent à les mettre aux prises avec un courant marin. C'est surtout évidemment pendant la période glaciaire que ce moyen de transport a eu à la fois le plus de puissance et de généralité. Tous ces agents de dissémination et de dispersion, « et tant d'autres, dit Darwin, qu'il nous reste sans doute à découvrir, ayant agi continuellement, et d'année en année, pendant des dizaines et des centaines de mille ans, il serait miraculeux que beaucoup de plantes ne se fussent pas trouvées ainsi transportées et répandues. »

II

Puissante influence de la période glaciaire. — Faits importants de distribution géographique qui doivent lui être attribués. — Applications aux terres isolées et très-distantes les unes des autres dans les deux hémisphères. — Rôle remarquable de la Cordillère des Andes.

La période glaciaire nous fournit le plus bel exemple des effets que peuvent produire les grandes alternances de climat sur la distribution géographique et nous permet de nous rendre compte de beaucoup de faits intéressants de répartition qu'il nous reste à résumer. On sait que cette phase si remarquable de l'histoire du globe comprend toute une série des grands phénomènes qui ont immédiatement succédé à l'époque tertiaire, et dont la plupart ont été contemporains du Mammouth. Par suite de l'abaissement général de la température du globe, il y eut un développement considérable de glaces dans les régions polaires jadis couvertes de végétation. Parallèlement, sur les continents, les glaciers des chaînes de montagnes s'étendaient jusque dans les vallées les plus basses : ainsi ceux des Alpes atteignaient l'emplacement actuel de Lyon; les Vosges, aujourd'hui sans glaciers, en possédaient alors qui se reliaient à ceux des Alpes par-dessus les collines du Jura. Au retour de la chaleur, la fusion fit entrer ces glaces polaires et continentales dans les limites où nous les voyons actuellement : c'est alors qu'eurent lieu ces vastes phénomènes erratiques dont on trouve des traces si certaines jusque vers les latitudes moyennes des deux hémisphères et notamment de l'hémisphère boréal, où le plus grand développement des terres rend l'observation plus facile.

A cause même de la continuité des terres circumpolaires pendant la période pliocène, une certaine uniformité dans les nombreuses productions organiques régnait dans les régions septentrionales communes des deux mondes, mais par l'effet de la plus grande élévation de température, les analogues des espèces qui vivent aujourd'hui sous le soixantième degré de latitude étaient installées plus loin au Nord, vers le soixante-septième degré; les terres polaires étant beaucoup moins infranchissables que de nos jours, l'Amérique et l'Europe pouvaient échanger facilement leurs

plantes et leurs animaux. Mais le climat devenant un peu moins chaud, ceux-ci commencèrent à émigrer vers le sud et à s'éloigner peu à peu de leur habitat commun, de sorte que ce seraient leurs descendants, pour la plupart modifiés, que nous voyons aujourd'hui dans les parties centrales de l'Europe et des Etats-Unis. Cette dissémination divergente des mêmes espèces vers les grandes terres des latitudes moyennes nous rend compte des analogies si remarquables qui lient encore, en dépit de la grande distance, les productions des États-Unis et du Canada à celles de l'Europe, et qui s'affirmaient bien davantage aux dernières époques tertiaires, ainsi que le témoignent les restes fossiles.

Avant l'abaissement de la température, les espèces de nature boréale, alors plus condensées autour des régions polaires et entretenant entre elles des relations rendues plus faciles et plus fréquentes par la plus grande continuité des terres et le moindre développement des glaces, devaient offrir, dans leur patrie commune, un degré de parenté plus accentué que dans les temps ultérieurs où, forcées de s'exiler, elles durent entrer en lutte active avec les espèces américaines et européennes indigènes ; des modifications organiques plus ou moins profondes qui ont été provoquées par cette concurrence dissimulent maintenant en partie, à nos yeux, la communauté d'origine.

A mesure de l'invasion du froid et à mesure que les glaces s'étendaient comme un drap mortuaire sur les terres septentrionales des deux mondes, les plantes tropicales firent retraite vers l'équateur, suivies comme à la remorque par les productions tempérées, et celles-ci par les formes arctiques qui parvinrent ainsi jusqu'au cœur de l'Europe et de l'Amérique du Nord en forçant les rangs des espèces indigènes. C'est à cette époque que les Rennes et autres espèces animales propres aux régions polaires, vinrent occuper en foule le sol franco-germanique et fournir aux hommes primitifs un gibier abondant et facile. De ce conflit de formes différentes résultèrent des effets de sélection qui modifièrent le cachet primitif de la plupart d'entre elles. Le nombre des espèces augmenta, et, lorsqu'on considère à la fois la diminution de surface des continents vers le sud et la multiplicité plus grande des espèces par suite des nombreux mélanges qui se sont opérés dans ces régions, on s'explique pourquoi les espèces dont l'aire moyenne est la plus restreinte se trouvent dans les pays équatoriaux, et pour-

quoi celles dont elle est la plus vaste se rencontrent dans les zones froides.

A la fin de la période glaciaire, la chaleur survenant, les espèces des latitudes supérieures furent obligées de revenir en masses sur leurs pas vers leur ancienne patrie ; mais celles qui s'étaient trop avancées vers l'équateur, ayant trop de chemin à parcourir, durent, devant l'extermination qui les menaçait dans les basses terres, s'élever sur les flancs des montagnes à mesure que la chaleur inondait les plaines. Ainsi poussées à changer d'altitude, elles furent contraintes à engager, avec les premiers occupants de ces montagnes, une lutte de laquelle surgirent pour elles de nouvelles modifications fixées bientôt par la sélection naturelle. C'est pourquoi les plantes alpines, quoique étroitement alliées aux espèces arctiques, présentent néanmoins des types faciles à distinguer.

Là où l'invasion calorifique a été la plus grande, comme sous l'équateur, les plantes dont nous parlons se sont installées plus près des sommets. La distribution des plantes sur une haute montagne intertropicale, telle que le Chimborazo, rappelle, d'ailleurs, à s'y méprendre, la succession de formes qu'on observe le long d'un même méridien, de l'équateur au pôle. Une observation récente à ce sujet est rapportée par M. Wallace : lors de son exploration de l'archipel malais, de laquelle il rapporte tant d'observations intéressantes, ce savant collaborateur de Darwin fit, dans l'île de Java, l'ascension de la montagne volcanique de Pangerango, dont l'altitude est au moins égale à 3,000 mètres. Entre 500 et 1,500 mètres, la flore des tropiques s'accuse par d'innombrables Fougères arborescentes de 15 mètres de hauteur ; vers 1,000 mètres on cueille, sur le bord des sentiers, les Violettes et les Fraises des régions tempérées ; à 1,800 mètres, on trouve des Framboises en abondance ; à 2,000 mètres, le Cyprès apparaît ; enfin, au delà de 2,500 mètres, et dans la cavité du cratère, on ne trouve plus que des herbes ou des arbustes européens, tels que la Primevère, l'Armoise, le Sureau, le Chèvrefeuille, etc. Beaucoup d'autres exemples, pris en d'autres points, offriraient la même réunion de flores aussi séparées au point de vue géographique qu'au point de vue organique.

Les phénomènes de l'époque glaciaire ont eu pour conséquence un assez grand nombre de faits intéressants qui leur constituent

comme autant de preuves et dont nous allons énumérer les principaux. Le phénomène glaciaire arctique et la connexité antérieure des terres de l'hémisphère boréal s'affirment par les nombreuses espèces communes à la fois au Kamtschatka, au Labrador et à l'Europe, par l'existence de quinze familles ayant deux centres principaux, l'un dans l'Amérique et l'autre dans l'Europe tempérées, par la présence, dans l'Himalaya, d'espèces et de genres appartenant en même temps au Japon et aux montagnes Rocheuses, par l'habitat des deux seuls genres de la famille des Calycanthées, l'un au Japon et l'autre dans le nord du continent américain, etc.

Tous les géologues s'accordent à reconnaître une époque glaciaire antarctique parallèle à celle qui a affecté la région opposée. Avant que les glaces du pôle sud aient commencé à prendre un grand développement, les terres auxquelles elles devaient se substituer nourrissaient une flore isolée et toute particulière, dont un certain nombre de représentants ont été dispersés en rayonnant jusqu'en des points très-éloignés et très-divers de l'hémisphère austral, soit par moyens de transport occasionnel, soit par les courants marins ou par les glaces flottantes, soit encore par l'intermédiaire d'îles aujourd'hui submergées et servant alors de relais. Cette descente divergente des espèces développées dans les terres circumpolaires se révèle à nous par diverses circonstances : soixante-dix-sept espèces sont, en effet, communes à la fois à Van-Diémen, à la Nouvelle-Zélande et à l'Amérique australe ; les Épacridées, qui sont éminemment caractéristiques de la Nouvelle-Hollande, où elles possèdent une multitude de genres, en offrent un isolé à la pointe de l'Amérique ; les Vochysiacées et les Bruniacées se rencontrent simultanément dans l'Amérique méridionale et au Cap ; enfin la flore de l'île de Kerguelen, ainsi que l'a constaté M. Dalton-Hooker à l'époque où il explorait les diverses îles de l'Océan austral, est, à proprement parler, celle de la Terre de Feu, bien que ces deux îles soient distantes de plus de 2,000 lieues. Ces affinités et ces grandes analogies semblent bien accuser l'unité d'un point de départ.

Le continent américain, par la direction nord-sud de la grande chaîne des Andes qui lui donne, sous presque chaque latitude, la réunion des climats les plus divers, nous offre des mélanges remarquables des deux flores polaires. Ainsi, M. Dalton-Hooker a

compté quarante-six espèces de Phanérogames communes à la Terre de Feu et à l'Europe. Or ces végétaux n'ont pu passer de l'une à l'autre de ces contrées si éloignées, qu'à travers toute la longueur du nouveau monde, où la présence d'une chaîne d'une altitude suffisante et peut-être plus haute qu'aujourd'hui dans la portion isthmique et équatoriale, permettait à ces phanérogames de traverser toutes les latitudes sans changer pour ainsi dire de climat. Ces quarante-six espèces se retrouvent, en effet, dans l'Amérique du Nord, qui s'est trouvée sur le chemin de leur migration. De même, beaucoup d'espèces du Nord qui s'avancent jusque dans les Andes du Mexique se retrouvent dans les Andes de la Bolivie et jusque dans la Patagonie.

Les Alpes, les Pyrénées, l'Atlas, le Caucase, l'Himalaya, dirigés de l'est à l'ouest, n'ont pu se prêter à de semblables phénomènes.

III

Principaux effets de la concurrence vitale dans les îles océaniques.

A cause de la difficulté de transport causée par le grand éloignement, comme aussi à cause de la nature volcanique de la plupart d'entre elles, les petites îles océaniques se montrent pauvres en espèces, bien que quelques-unes ne laissent pas de présenter des types spéciaux, tels que la Campanule de Vidal aux Açores; deux Ombellifères (*Monezia edulis* et *Melanoselinum*) à Madère; une autre Ombellifère, l'*Azorella Selago* et une gigantesque Crucifère, excellent antiscorbutique, à Kerguelen; deux Composées, le *Robinsonia* et le *Rea*, dont toutes les espèces sont confinées dans l'île de Juan Fernandez; le genre *Phyllostegia*, de la famille des Labiées, tout entier dans les îles Sandwich. De même, dix-sept des espèces de Sainte-Hélène ont dû être classées dans des genres spéciaux. Les Féroé, le Spitzberg, l'Islande font exception à la pauvreté générale des régions insulaires : elles possèdent, en effet, à peu près autant d'espèces que des étendues égales prises sur les continents voisins; mais c'est que les agents de transport, et notamment les oiseaux et les glaces flottantes sont pour elles très-actifs et qu'elles ont, en outre, été plus que les autres, influencées par la période glaciaire.

Ces types rares et locaux, isolés à la fois dans la classification systématique comme dans la distribution géographique, s'expliquent par le peu de développement de la concurrence vitale dans ces stations étroites, mises, par leur grand éloignement, à l'abri des immigrations fréquentes et nombreuses. D'anciens types qui se sont éteints ou plus ou moins modifiés ailleurs sous la pression incessante de races supérieures ont pu survivre dans les îles où peu d'individus de ces races supérieures ont pénétré. C'est ainsi que la flore de l'île de Madère rappelle la flore tertiaire d'Europe et que les Fougères arborescentes de la Nouvelle-Zélande nous donnent une idée approchée de la végétation houillère. En outre, dans les étroites limites de pareils habitats, les chances de variations se trouvent évidemment diminuées et les formes se conservent plus longtemps avec leurs caractères originels. M. Dalton-Hooker considère la flore des îles Atlantiques comme les débris d'une végétation beaucoup plus ancienne ; les diverses plantes particulières aux Açores, à Madère, aux Canaries, etc., sont pour lui les témoins vivants d'une période où la distribution des terres et les conditions climatériques étaient tout autres qu'aujourd'hui, et comme ne devant la prolongation de leur existence qu'à l'isolement de leur habitat, absolument comme certaines formes surannées, véritables fossiles vivants du règne animal, telles que les Poissons ganoïdes, l'Ornithorhynque et le Lépidosiren. Mais ces derniers représentants des vieux âges cèdent partout promptement la place devant l'importation des espèces vigoureuses nées en de vastes régions continentales. La modification profonde que leur extension rapide a imprimée à la flore des diverses localités où l'homme les a transportées montre assez quels changements d'aspect, dans les végétations naturelles, ont pu être apportés, dans les temps antérieurs, par des dispositions géographiques favorables à une immigration égale à celle dont l'homme a été depuis l'auxiliaire.

Beaucoup d'îles océaniques sont, par suite de leur isolement, dans l'impossibilité de réparer les pertes provoquées soit par l'affaissement du sol, soit par les animaux voraces. L'affaissement agit sur les plantes en réduisant le nombre des localités propres au développement de certaines espèces et en activant ainsi la concurrence vitale dont le dénoûment fatal est la disparition des espèces les moins robustes, les moins prolifiques devant

celles qui sont mieux éprouvées et plus fécondes. Il réduit, en outre, le nombre des Insectes indispensables à la fécondation des fleurs en exposant les espèces ailées, par suite du rétrécissement de l'espace, à être plus facilement emportées vers la mer dans les tourmentes. A Madère, aux Canaries, les insectes munis d'ailes sont en effet, relativement aux aptères, dans des proportions beaucoup moindres que sur les continents.

Mais de toutes les causes de modification des flores et des faunes insulaires, la plus prépondérante de beaucoup dans l'époque actuelle est encore celle de l'homme. Lorsqu'il accapare une nouvelle contrée jusqu'alors livrée aux seules causes naturelles, il en modifie rapidement le facies vital : il détruit les forêts pour se faire place ou pour les besoins de son industrie ; il introduit avec lui des animaux plus ou moins dévastateurs qui, souvent abandonnés à eux-mêmes, arrivent, par une multiplication rapide, à tout dénuder et parfois à le chasser lui-même; il importe volontairement, ou souvent à son insu même, des espèces étrangères qui, accoutumées à la lutte sur un terrain plus vaste et devant des concurrents plus nombreux et plus aguerris, supplantent sans peine les espèces indigènes. Les caractères de la végétation de Madère, de Sainte-Hélène, etc., ont été ainsi profondément modifiés, et il devient très-difficile de suivre les traces des flores anciennes indigènes dans toute localité où l'homme est intervenu pour disposer tout à sa convenance et user de tout en maître absolu. Aussi est-il grand temps d'achever de réunir les matériaux de la coordination desquels pourront surgir les lois désormais précises de la géographie botanique.

E. VIGNES.

II

LA MATURATION DES CÉRÉALES

RECHERCHES SUR L'ÉVAPORATION DE L'EAU ET LES MIGRATIONS DES PRINCIPES IMMÉDIATS DANS LES VÉGÉTAUX HERBACÉS.

Quiconque a observé, au mois de juin, un champ de blé, a pu remarquer que le bas des tiges et les feuilles inférieures sont

déjà jaunes et décolorées, tandis que les feuilles supérieures et les épis, encore en fleurs, présentent, au contraire, une teinte verte bien prononcée.

Si on examine de plus près, on se convainc bientôt que la transformation a été des plus complètes; ces vieilles feuilles jaunes sont presque sèches ; elles ne renferment plus ni glucose, ni albumine, ni phosphate, elles sont comme vidées de toutes les substances qu'elles renfermaient au temps de leur jeunesse et qu'on retrouve encore dans les feuilles du sommet. Plus tard, celles-ci jaunissent à leur tour, elles se vident comme les précédentes, au profit des grains dans lesquels vient s'accumuler toute la matière que, pendant sa vie, le végétal a lentement élaborée. Quel est le mécanisme de ce transport? Comment les principes immédiats ont-ils cheminé de feuilles en feuilles jusqu'au sommet pour venir se concentrer dans les graines? C'est là ce que nous voulons examiner dans cet écrit.

I

Preuves de l'existence d'un transport dans les végétaux. — Expériences de M. Is. Pierre. — Transformation que subissent les principes immédiats carbonés et azotés pendant leurs migrations. — Glucose. — Sucre de canne. — Amidon.

Et d'abord, cette migration que nous voulons étudier existe-t-elle en effet? ne pourrait-on pas admettre tout simplement que les principes immédiats, qui prennent naissance dans les feuilles, s'y détruisent? qu'après s'y être développés, ils s'y brûlent lentement, et que cette idée de migration comparable, dans une certaine mesure, à la circulation qu'on observe dans les animaux, n'est appuyée que sur une analogie lointaine et non sur des expériences sérieuses?

Cette migration des principes immédiats, niée souvent, existe cependant, et les belles expériences de M. Is. Pierre, sur la composition des différentes parties du blé à diverses époques de son développement, nous démontrent clairement qu'elle a lieu. Si nous concevons, en effet, que des matières organiques se brûlent dans les feuilles et, par suite, disparaissent, cette supposition ne saurait être admise pour les matières minérales, et c est précisément de celles-ci que M. Is. Pierre a particulièrement suivi le transport;

il a vu, par exemple, et très-nettement, les phosphates et la potasse, qui se rencontrent dans les feuilles tant qu'elles sont vertes, disparaître peu à peu quand elles vieillissent, pour laisser seulement des cendres formées de silice. Or ces matières qui ont disparu des feuilles se rencontrent d'abord dans le haut des tiges, puis dans les grains; on peut les suivre directement d'étapes en étapes et affirmer ainsi qu'elles se sont transportées vraisemblablement en même temps que les matières azotées et carbonées, dont on constate également la disparition dans les feuilles du bas de la tige et l'apparition dans les feuilles du sommet, puis dans les épis.

La démonstration de la migration des matières minérales présente une importance capitale, et il convient, avant d'aborder les recherches qui nous sont personnelles, de résumer les remarquables travaux de M. Is. Pierre qui ont manifestement contribué à fixer l'opinion encore indécise des naturalistes. Dans son travail sur le blé[1], comme dans celui qu'il a exécuté sur le colza[2], M. Is. Pierre a constaté l'appauvrissement de toutes les parties de la plante au profit du grain. « Pendant le dernier mois, dit-il, les feuilles et le haut des tiges, principalement les parties supérieures, les plus jeunes, ont perdu la majeure partie de leur azote, tandis que l'épi en a gagné énormément pendant le même temps. C'est donc par suite d'un phénomène de transport vers l'épi, que le reste de la plante perd, pendant les dernières semaines, les deux tiers de son azote.

« L'appauvrissement des feuilles en acide phosphorique suit exactement la même marche que celle de l'azote. On voit de même le poids total de l'acide phosphorique commencer à diminuer dans l'ensemble des feuilles, dans l'ensemble des nœuds et des entre-nœuds plus d'un mois avant la moisson, tandis qu'il éprouve dans l'épi un rapide accroissement correspondant.

« A l'approche de la moisson, les feuilles inférieures ne contiennent plus que des traces insignifiantes de potasse ; dans les épis, le poids total de potasse que contient la récolte entière croît d'une manière continue jusqu'à la moisson. Il se produit, au

[1] *Recherches expérimentales sur le développement du blé*. Delagrave, 1866.

[2] *Ann. de chimie et de physique*, IIIe série, t. LX, p. 129. 1860.

contraire, dans l'ensemble des feuilles d'une même époque, une diminution considérable et rapide du poids total de la potasse; cette diminution s'est élevée à 92 p. 100 pendant les six premières semaines, dans mes expériences de 1864. »

Des observations semblables ont été faites par M. Is. Pierre sur le colza; l'accroissement de l'azote dans les sommets des rameaux vers la maturité est des plus évidents; la masse totale de l'acide phosphorique éprouve, dans les sommets des rameaux, un accroissement non interrompu et devient en moins de trois mois vingt fois plus considérable qu'au début des recherches, et la même observation s'applique encore à la potasse.

M. Correnwinder, qui s'est particulièrement attaché à l'étude des migrations de l'acide phosphorique, a reconnu également que cette matière diminuait dans les divers organes des plantes herbacées au moment de la formation des graines, pour venir se concentrer dans celles-ci.

Si cette migration des matières minérales et des matières azotées a été ainsi mise hors de doute par l'analyse élémentaire, on n'a pas suivi aussi exactement le transport des matières carbonées; on a négligé aussi de déterminer rigoureusement l'état sous lequel ces matières se présentaient successivement, et ce sont là les questions qui nous ont particulièrement occupés.

Les matières azotées ne paraissent guère subir d'autre transformation qu'au passage de l'état soluble à l'état insoluble. Ainsi, tandis que dans les feuilles on rencontre l'albumine soluble et qu'il suffit au printemps de chauffer l'extrait obtenu des jeunes feuilles hachées et pressées, pour voir se produire un abondant coagulum d'albumine, dans le grain, au contraire, la majeure partie de l'albumine est devenue insoluble pour former le gluten; c'est un fait remarquable, au reste, que, dans les graines, on ne rencontre que des matières insolubles. Nous verrons comment on peut tirer parti de cette observation pour expliquer le mécanisme de l'accumulation des principes immédiats dans les grains.

Les principes hydrocarbonés, qu'on désigne parfois sous le nom d'hydrates de carbone, présentent au contraire, pendant leurs migrations, des changements dignes d'attention. Quand on fait l'analyse de jeunes feuilles vers le mois de mars ou d'avril, on y trouve du glucose en abondance, mais on n'y rencontre ni sucre de canne ni amidon; on y constate encore la présence d'une cer-

taine quantité de tannin, mais le mode de formation de ce composé nous est complétement inconnu, ainsi que ses transformations, et nous le laisserons de côté.

Cette abondance du glucose dans les jeunes feuilles de tous les végétaux donne un nouveau degré de probabilité à la belle hypothèse qui voit dans les feuilles le laboratoire mystérieux où s'effectue, sous l'influence des rayons lumineux, l'union de l'oxyde de carbone, provenant de la décomposition de l'acide carbonique à l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau [1]. Le glucose est comme la première étape des hydrates de carbone; c'est la matière qui se produit par synthèse dans des conditions qu'il a été jusqu'à présent impossible de reproduire artificiellement dans le laboratoire.

Ce glucose, si abondant dans les jeunes feuilles du pied, se trouve plus tard, dans le haut des tiges, mêlé à une proportion notable de sucre de canne; celui-ci finit même par devenir plus abondant que le glucose. Chacun sait, en effet, que le haut des tiges des céréales présente, au mois de juin, une saveur très-nettement sucrée; ce sucre, abondant dans le blé et dans le seigle, l'est encore davantage dans le maïs; le bas des grandes feuilles est, quelque temps avant la formation des grains, assez riche en sucre pour qu'on ait songé à l'extraire directement.

On sait qu'il existe entre le glucose et le sucre une parenté étroite; ces deux composés ne diffèrent que par un atome d'eau, et il semble que le glucose se soit transformé en sucre par la combinaison de deux molécules avec élimination d'eau, comme se combinent deux molécules d'alcool pour former l'éther Cette interprétation de la formation du sucre a été donnée par M. Berthelot; d'après lui :

$$\underbrace{C^{12}H^{12}O^{12} + C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{Glucose.}} = \underbrace{C^{24}H^{22}O^{22}}_{\text{Sucre de canne.}} + 2\,HO$$

comme

$$\underbrace{C^{4}H^{6}O^{2} + C^{4}H^{6}O^{2}}_{\text{Alcool.}} = \underbrace{C^{8}H^{10}O^{2}}_{\text{Ether.}} + 2\,HO$$

[1] On représente aisément cette synthèse, qui n'a malheureusement jamais été reproduite artificiellement par l'équation :

$$12\,CO^2 + 12\,HO = \underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{Glucose.}} + 24\,O.$$

Toutefois cette interprétation ne s'appuyait jusqu'à présent que sur des analogies, on n'en avait donné aucune preuve expérimentale. Si nous n'avons pas plus réussi que nos devanciers à transformer le glucose en sucre de canne, nous croyons cependant apporter un argument sérieux à l'hypothèse de M. Berthelot en montrant que, dans les végétaux, le glucose précède le sucre et qu'ils paraissent dériver l'un de l'autre par une métamorphose analogue à celle qu'avait prévue le savant professeur du Collége de France.

Cette transformation n'est pas la dernière qu'on observe. Quand le grain se développe et mûrit, le sucre disparaît du haut des tiges et des feuilles ; tout jaunit, tout se flétrit et le grain est gonflé d'amidon ; il renferme donc maintenant, sous forme insoluble, un dérivé de sucre de canne, et il semble que, encore ici, l'amidon provienne du sucre de canne, comme celui-ci dérivait du glucose par suite d'une simple déshydratation. En effet, $C^{24}H^{22}O^{22}$, en perdant 2HO, devient $C^{24}H^{20}O^{20}$, l'amidon.

Plus tard, enfin, et on en a la preuve quand on examine les graines de colza, cet amidon disparaît à son tour pour s'organiser en cellulose, qui est isomère avec lui.

II

Mode de migration des principes immédiats. — Évaporation de l'eau. — Influence de la lumière. — Influence des divers rayons lumineux. — Influence de l'âge des feuilles sur la quantité d'eau qu'elles évaporent. — Appareil schématique. — Ascensions des principes solubles des feuilles du pied vers les feuilles du sommet. — Expériences de diffusion. — Accumulation des principes insolubles dans la graine.

Les principes immédiats se transforment les uns dans les autres, nous l'accordons ; mais comment peuvent-ils s'élever, dans le végétal, d'une feuille à l'autre? Pour répondre à cette question, il faut d'abord étudier l'évaporation de l'eau par les feuilles. Si l'on fixe la feuille adhérente à la plante en expérience dans un tube d'essai, à l'aide d'un bouchon coupé en deux parties, la feuille, ainsi pincée, mais non froissée, évapore bientôt une quantité sensible d'eau qui vient se condenser sur les parois du tube assez rapidement ; l'évaporation continue, au reste, dans cette atmosphère saturée comme à l'air libre, et nous constatons

ainsi, du premier coup, que cette évaporation est complétement différente de celle qui s'exercerait sur une surface humide non vivante. Si l'on fixe, en effet, dans un tube, une mèche de coton dont l'extrémité plonge dans l'eau, on reconnaît qu'il monte par capillarité une certaine quantité d'eau dans la mèche, et que le tube devient humide; mais la quantité d'eau qu'il renferme reste bientôt stationnaire, et deux pesées faites à une heure d'intervalle n'indiquent plus que des changements insignifiants dans le poids d'eau condensée dans le tube; il est loin d'en être ainsi quand on expérimente sur une feuille, car l'eau contenue dans le tube augmente régulièrement, malgré l'état de saturation de l'atmosphère dans laquelle cette eau se dépose.

On reconnut bientôt que les quantités d'eau recueillies sont bien différentes quand on opère au soleil ou à l'ombre; et, d'expériences régulières établies pour reconnaître l'influence de la lumière, on put bientôt conclure qu'elle était l'agent efficace de cette décomposition. Les résultats sont tellement frappants que nous croyons devoir les citer. Un poids de feuilles de blé représenté par 100 a donné au soleil 88,2, 71,8, 70,8 d'eau, tandis qu'il en a donné 17,7, 6,0 à la lumière diffuse, et 1,1, 2,8, 0,7 dans l'obscurité; une expérience avec des feuilles d'orge a donné les mêmes résultats; pour 100 de feuilles, on a trouvé 74,2 d'eau au soleil, 18,0 à la lumière diffuse, 2,3 à l'obscurité.

Ces résultats sont d'accord avec ceux qu'avait observés, il y a un siècle, le naturaliste Guettard, qui avait reconnu également que l'évaporation, très-active pendant le jour, est presque nulle pendant la nuit.

On pourrait objecter que les rayons du soleil sont, non-seulement lumineux, mais que de plus ils sont chauds, et que, dès lors, ils agissent aussi bien par leur chaleur que par leur lumière; mais on reconnaîtra que cette objection tombe devant les expériences suivantes. On plonge le tube qui contient la feuille dans un manchon que parcourt un courant d'eau froide, ou encore que remplit un mélange d'eau et de glace, et on trouve que la quantité d'eau recueillie est plus grande que dans les expériences précédentes où le tube n'était pas refroidi; il serait inexact d'en conclure que la chaleur nuit à l'évaporation, mais il faut reconnaître qu'en condensant mieux l'eau émise par la feuille, on

obtient un résultat plus avantageux que lorsqu'on laisse agir simultanément la chaleur et la lumière.

Ces résultats démontrent que l'évaporation de l'eau, comme la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, est déterminée par la lumière; on pouvait donc soupçonner qu'il y a entre ces deux phénomènes de la vie végétale une liaison qui avait échappé jusqu'à présent à l'attention des naturalistes. Toutefois, pour se convaincre que cette liaison existe, en effet, il faut suivre le phénomène dans tous ses détails.

Et d'abord, un fait nous surprit : une feuille insolée ramenée à l'obscurité cesse presque immédiatement d'évaporer de l'eau ; or M. van Tieghem avait annoncé, il y a quelque temps, que la plante conserve pendant quelques heures cette faculté décomposante, et nous avons, dans ce recueil même, résumé les expériences curieuses qu'il a faites sur ce sujet [1].

On se rappelle que M. van Tieghem avait opéré sur des plantes aquatiques submergées dans une dissolution d'acide carbonique, et qu'il avait simplement constaté le dégagement du gaz, sans le recueillir, et par suite sans déterminer sa nature; cette méthode pouvait donner naissance à des erreurs, ainsi que M. van Tieghem l'a reconnu lui-même récemment [2]. En effet, le dégagement d'oxygène cesse aussitôt que la lumière ne frappe plus les feuilles, le fait a été démontré très-clairement cette année même par M. Boussingault, et si le dégagement de gaz persiste dans quelques conditions particulières où s'est placé M. van Tieghem, nous l'avons, quant à nous, vu cesser complétement aussitôt que les plantes sont plongées dans l'obscurité. Ainsi le désaccord que nous avions cru constater d'abord n'existe pas ; l'évaporation de l'eau, comme le dégagement d'oxygène, cessant l'un et l'autre dans l'obscurité.

L'un et l'autre s'affaiblissent singulièrement à la lumière diffuse : nous avons vu plus haut que la quantité d'eau émise par les feuilles de blé à la lumière diffuse était faible comparée à celle qu'elles rejetaient au soleil ; or en plaçant des poids égaux de plantes aquatiques au soleil et à la lumière diffuse, nous avons vu en trois heures 100 de plantes donner 366 centimètres cubes de gaz et

[1] *Annuaire de* 1869. — *La Végétation dans l'obscurité*, p. 215.

[2] *Comptes rendus*. 1869, t. LXIX, p, 534.

331 centimètres cubes au soleil, tandis que le même poids de plantes en fournissait 65 centimètres cubes, lorsqu'elles étaient exposée dans une cour à la lumière diffuse, et seulement 22 quand l'expérience eut lieu dans un laboratoire bien éclairé. La composition des gaz émis était loin d'être la même : tandis que dans les deux expériences faites au soleil, les trois quarts du gaz recueilli était de l'oxygène, celui-ci formait seulement les deux tiers, quand le gaz provenait d'une plante exposée à la lumière diffuse, et n'était plus que le quart du gaz provenant de la plante qui était restée dans le laboratoire.

On sait que tous les rayons lumineux ne sont pas également efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles. MM. Daubeny, Hunt, Draper, Cloëz et Gratiolet, Sachs, Cailletet ont successivement montré que les rayons jaunes et rouges agissent avec bien plus d'énergie que les rayons verts et bleus. M. Prilleux avait cru récemment pouvoir infirmer ces résultats et attribuer seulement à la différence d'intensité de ces divers rayons, à leur plus ou moins grande puissance éclairante les effets qu'ils produisent ; mais en reprenant ses expériences et en mesurant le nombre des centimètres cubes émis, au lieu de m'en tenir à compter le nombre de bulles de gaz, j'ai reconnu qu'en plongeant les flacons renfermant les plantes en expériences dans des manchons renfermant des dissolutions jaunes et rouges, bien moins transparentes que les dissolutions bleues employées, on recueillait cependant plus de gaz dans le premier cas que dans le second. Il était important de démontrer que les nombreux observateurs qui s'étaient occupés de cette question n'avaient commis aucune erreur, car on trouve encore que les rayons lumineux, efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique, le sont aussi pour provoquer l'évaporation de l'eau, bien plus active quand les plantes sont plongées dans la lumière rouge et jaune que dans la bleue et la verte.

Il est donc vraisemblable qu'il y a une liaison entre les deux phénomènes de la vie végétale, évaporation de l'eau et décomposition de l'acide carbonique, sans qu'il nous soit possible de formuler aujourd'hui en quoi consiste cette liaison.

En poursuivant nos études sur l'évaporation, il nous fut bientôt facile de reconnaître qu'elle varie singulièrement avec l'âge des feuilles mises en expériences ; tandis que les jeunes feuilles

de blé exposées au soleil évaporent souvent en une heure un poids d'eau égal au leur; qu'une feuille de deux décigrammes, par exemple, donne deux décigrammes d'eau, une feuille plus âgée en donne moitié moins. Nous avons souvent mis en même temps en expérience des feuilles du bas de la tige et des feuilles du sommet et les résultats ont toujours été dans le sens que nous venons d'indiquer; ainsi une jeune feuille évapore plus d'eau qu'une feuille plus ancienne; la vie y est plus active, les fonctions plus énergiques; à mesure qu'elle avance en âge, cette fonction s'affaiblit pour finir par disparaître, comme disparaît par la mort la faculté de réduire l'acide carbonique, et c'est précisément, d'après nous, l'anéantissement de la faculté évaporatoire dans une feuille morte, qui détermine le mouvement des principes immédiats du bas des tiges au sommet.

Pour le bien concevoir, efforçons-nous d'abord de voir ce qui se produirait dans un appareil où nous simulerons grossièrement l'action que nous voulons mettre en lumière dans les végétaux. A un flacon de verre renfermant une petite quantité d'eau, on adapte un bouchon percé de deux orifices que traversent des tubes de verre ouverts aux deux bouts; dans l'un de ces tubes on introduit une mèche de coton humide imprégnée de sulfate de cuivre; l'une des extrémités de la mèche s'épanouit à l'air libre, l'autre plonge, en sortant légèrement du tube, dans l'eau du flacon; l'autre tube renferme une mèche semblable à la précédente, mais imprégnée de prussiate jaune de potasse; son extrémité inférieure plonge dans l'eau du flacon et son extrémité supérieure, sortant encore du tube, est recouverte par un tube d'essai ordinaire fermé à la partie supérieure et fixée par un bouchon au tube à mèche.

Nous avons, dans cet appareil, deux mèches de coton semblables, mais l'une s'épanouit à l'air, l'eau qu'elle renferme s'évapore constamment et est bientôt remplacée par l'eau du vase, sans cesse attirée; l'autre mèche, au contraire, confinée dans un tube dont l'atmosphère se sature en quelques instants de vapeur d'eau, cesse d'évaporer. En abandonnant un appareil semblable à la température ordinaire, on ne tarde pas à voir l'extrémité de la mèche à sulfate de cuivre se colorer en bleu; des cristaux s'y déposent par suite de l'évaporation de l'eau qui tenait le sel en dissolution; après quelques jours apparaissent par places des

taches brunes; celles-ci augmentent et deviennent enfin très-sensibles; or chacun sait que le prussiate jaune réagit sur le sulfate de cuivre pour donner un précipité brun: il n'est donc pas douteux que le prussiate jaune de la mèche placée dans une atmosphère confinée où elle ne peut évaporer l'eau qu'elle renferme, a été appelé dans la mèche dont l'extrémité s'épanouit à l'air, que l'évaporation qui a lieu dans celle-ci a déterminé un transport, au travers de l'eau du flacon, du prussiate de la mèche dont l'évaporation est nulle, vers le sulfate de cuivre de la mèche dont l'évaporation est active. Ces deux sels se sont rencontrés dans les fibres du coton et y ont réagi. Ainsi, nous le répétons, l'évaporation a déterminé le transport du prussiate.

Or, nous venons de voir qu'à mesure qu'elle avance en âge une feuille évapore de moins en moins d'eau et que cette évaporation cesse lorsqu'elle est morte; nous savons, d'autre part, que le végétal est gorgé de liquide et que les matières solubles s'y transportent d'un point à l'autre; ne pouvons-nous conclure de l'expérience faite avec les mèches de coton, que l'évaporation active des jeunes feuilles y détermine l'arrivée des matériaux des feuilles plus anciennes, qui cessent d'évaporer. Il nous semble que l'analogie qui existe entre la plante herbacée et l'appareil schématique décrit plus haut est des plus évidente, et que les causes dont nous avons suivi les effets dans l'un, doivent agir dans l'autre et y produire des effets analogues.

Il est clair que si le sol est gorgé d'eau, que la saison soit pluvieuse, la lumière peu éclatante, cet effet de transport sera peu sensible, car les jeunes feuilles trouveront dans le sol toute l'eau nécessaire à la faible évaporation provoquée par une lumière peu intense, la récolte ne mûrira pas; mais qu'au contraire le sol soit desséché par la chaleur de l'été, que chaque jour une lumière éclatante vienne provoquer une évaporation excessive, et bientôt le sol ne pourra fournir à cette dépense incessante, dès lors les organes les plus actifs s'empareront de l'eau au détriment de ceux qui l'appellent moins vivement; ceux-ci se flétriront, l'évaporation y cessera tout à fait et les jeunes feuilles pourront absorber les principes solubles contenus dans ces vieilles feuilles avec l'eau qu'elles renfermaient encore. Sous l'influence de la lumière, la végétation herbacée avancera rapidement vers sa fin dernière, la production des graines.

Les feuilles ont donc deux fonctions différentes; elles donnent naissance à du glucose en décomposant l'acide carbonique et l'eau; ce glucose s'accumule peu à peu dans la feuille qui l'a produit, jusqu'au moment où celle-ci vieillit et meurt; à ce moment ce glucose est appelé dans les feuilles plus jeunes, où il va se joindre à celui qui y a déjà été élaboré, et les jeunes feuilles emmagasinent ainsi les principes immédiats formés par celles qui les ont précédées; ces deux fonctions s'accomplissent l'une et l'autre sous l'influence de la lumière, qui détermine, d'une part, l'action chimique qui se traduit par le dégagement d'oxygène, d'autre part l'évaporation qui se traduit par le rejet d'une énorme quantité d'eau.

Tel est, d'après nous, le mécanisme du transport des éléments solubles des parties inférieures du végétal aux parties supérieures; mais nous n'avons ainsi expliqué qu'une partie des faits, car il nous faut encore concevoir comment les matériaux fabriqués dans les feuilles des plantes herbacées viennent s'accumuler dans les graines au moment où la plante mûrit.

J'ai fait remarquer plus haut que les principes immédiats contenus dans les graines, y sont presque complétement à l'état insoluble: les principes hydrocarbonés sont représentés par l'amidon insoluble, les matières azotées par le gluten insoluble, et qui fait participer à son état les phosphates qui l'accompagnent; il s'agit donc de concevoir comment, dans un végétal, les éléments, d'abord solubles, viennent s'accumuler en un point où ils deviennent insolubles.

Pour résoudre la question ainsi posée, nous rappellerons une expérience dont nous avons déjà donné la description dans ce recueil à l'article intitulé: *Nutrition des végétaux*[1]. Dans cette expérience, nous essayons encore d'éclairer ce qui doit se passer dans les végétaux, à l'aide d'expériences réalisées sur des matières inertes.

Dans un vase poreux analogues à ceux qu'on emploie pour la pile de Bunsen, on place de l'eau distillée, puis on l'immerge dans une dissolution de sulfate de cuivre; après quelques jours, le sulfate de cuivre a pénétré par diffusion dans l'intérieur du vase poreux, car l'équilibre n'est établi qu'autant que la dissolu-

[1] *Annuaire de* 1867.

tion intérieure est aussi concentrée que la dissolution extérieure ; à ce moment, on ajoute dans le vase intérieur une petite quantité d'eau de baryte, qui précipite l'oxyde de cuivre hydraté en même temps que du sulfate de baryte ; il ne reste donc plus de sulfate de cuivre dans l'eau du vase poreux ; et on conçoit que la force de diffusion, s'exerçant de nouveau, détermine la pénétration, dans l'intérieur du vase poreux, d'une nouvelle quantité de sulfate de cuivre ; celui-ci sera bientôt précipité à son tour par une nouvelle addition d'eau de baryte, de telle sorte qu'en renouvelant cette précipitation à diverses reprises, on réussit à accumuler dans le vase poreux tout le sulfate de cuivre extérieur.

Appuyons-nous sur cette expérience pour concevoir l'accumulation de l'amidon et du gluten dans les graines. Au moment où le grain commence à se former dans le froment, un grand nombre de feuilles sont déjà mortes et tous les matériaux solubles se sont accumulés dans les feuilles du haut et dans la tige ; ces feuilles n'ont même guère plus d'activité, car M. Is. Pierre a reconnu que quinze à vingt jours avant la moisson, le poids total de la récolte prise en masse et dans son ensemble cesse d'augmenter, que, pendant ces quinze ou vingt jours, l'épi emprunte aux différentes parties de la tige qui le supporte à peu près tout l'accroissement de poids qu'il éprouve[1]. L'évaporation des feuilles a donc diminuée à cette époque ; elles n'ont plus assez d'action pour contre-balancer l'effet de précipitation qui s'accomplit dans le grain, où viennent se condenser l'amidon et le gluten, précisément parce que c'est à ce point que se forment ces principes insolubles. Les feuilles, le haut des tiges renferment, au moment où le grain apparaît, du glucose, du sucre de canne, de l'albumine soluble. Par une action dont nous ignorons le mécanisme, ces matières deviennent, dans le grain, amidon et gluten, l'un et l'autre insolubles ; mais il nous suffit de constater cette insolubilité pour faire comprendre comment l'accumulation a lieu ; il pénètre, en effet, dans le grain, au moment de sa formation, une petite quantité de sucre de canne et d'albumine soluble, par voie de diffusion, de façon que l'équilibre se trouve établi dans toutes les parties du végétal qui, à ce moment, sont encore gorgées d'eau ;

[1] *Conclusions des recherches expérimentales sur le développement du blé.*

aussitôt que cette pénétration a eu lieu, ces principes changent de nature, le sucre de canne donne l'amidon insoluble, l'albumine donne le gluten également insoluble ; le liquide contenu dans le grain ne renferme donc plus ni sucre de canne ni albumine; d'après les lois de la diffusion des parties voisines, une nouvelle quantité de ces principes s'achemine vers le grain ; mais, par suite, ces parties voisines sont appauvries, et reçoivent des parties plus éloignées une nouvelle quantité des principes qu'elles ont perdus. Il s'établit donc, de proche en proche, un transport du sucre de canne, du glucose, de l'albumine vers le point où ces éléments deviennent insolubles, et on conçoit que ce transport bien différent de celui qui était provoqué par l'évaporation, soit complétement indépendant du mouvement de l'eau.

Il est vraisemblable, toutefois, que l'influence de celui-ci vient aider au transport des principes immédiats par diffusion, mais ce mouvement de l'eau, qui nous paraissait être la cause dominante du passage des principes immédiats d'une feuille à l'autre, n'a plus, dans ce cas, qu'une importance secondaire ; les épis, en effet, évaporent beaucoup moins activement que les feuilles, sans que cette évaporation soit nulle, puisque M. Is. Pierre a reconnu qu'au moment de sa formation le grain contient 70 p. 100 d'eau et seulement 25 ou 30 au moment de la moisson.

Nous venons de présenter au lecteur les résultats auxquels nous ont conduit nos dernières études ; il reconnaîtra sans peine que plusieurs points sont loin d'être éclaircis ; que nous ignorons, notamment, comment le glucose se transforme en sucre de canne, que nous ignorons encore comment, dans le grain, le sucre de canne et l'albumine deviennent insolubles, en se métamorphosant en gluten et en amidon. Mais on l'a dit depuis longtemps, c'est le propre des recherches scientifiques d'être incomplètes, et celui qui s'applaudit d'avoir fait quelques pas en avant reconnaît bien vite que le le chemin qui s'étend devant lui est bien autrement difficile que celui qu'il a déjà parcouru.

P.-P. Dehérain.

PHYSIOLOGIE

I

DE LA VISIBILITÉ DES RAYONS LUMINEUX.

I

Il résulte de la cause supposée de la lumière et de la nature que l'on attribue aux rayons lumineux [1] que ceux-ci ont entre eux la plus grande ressemblance et qu'ils diffèrent uniquement les uns des autres par la vitesse des vibrations correspondantes. Leurs effets, s'ils ont un caractère général de similitude, sont cependant bien différents et ne présentent pas seulement des variations d'intensité, comme on pourrait être tenté de le croire en raisonnant *a priori* et partant de l'hypothèse des ondulations. On n'a cependant, jusqu'à présent, reconnu entre les rayons lumineux diversement colorés aucune différence autre que celle que nous venons de signaler; on peut dire même qu'on ne soupçonne pas aujourd'hui de quel ordre pourraient être ces différences, de telle sorte que ce sont les longueurs d'onde des rayons, ou, ce qui revient au même, les vitesses de vibration qui sont considérées comme causes des variations de couleur.

La cause, dans ce cas, semble bien éloignée de l'effet, et quelle relation peut-il y avoir entre la rapidité d'un mouvement d'oscillation et la coloration rouge, jaune ou bleue? On ne voit aucun rapport immédiat, il n'en existe évidemment pas. Ce n'est cependant pas une raison pour rejeter la cause et supposer que

[1] Voir l'article *Physique* du présent *Annuaire*.

d'autres différences doivent être attribuées aux molécules d'éther qui, par leur mouvement, donnent naissance aux phénomènes optiques. Ce n'est, en effet, que par l'intermédiaire d'une membrane sensible que nous parvient la sensation lumineuse, et c'est le mode de sensation propre à cet organe que nous ressentons et nullement le rayon lumineux lui-même ; celui-ci n'a été que l'agent qui a mis en jeu l'activité propre de la rétine. Ces considérations, du reste, ne sont pas particulières à l'organe de la vue, mais s'appliquent aux autres sensations que nous sommes susceptibles d'éprouver : un organe ou un nerf ne peut nous donner que la sensation correspondant à son activité propre et non la connaissance de la cause même du phénomène. Nous ne parlerons pas du calorique qui est tellement lié à la lumière que la comparaison serait peu concluante, les mêmes difficultés se présentant ; mais ce que nous appelons le *son*, ce que nous appelons *entendre* a-t-il quelque rapport avec la vibration de l'air ou d'un corps sonore ? Aucun, bien certainement ; en touchant une cloche mise en branle, nous aurons la sensation de vibration, de mouvement, et un sourd aurait absolument la même sensation dans ce cas ; il n'entendrait pas cependant, car, chez lui, pour une cause ou une autre, le nerf acoustique, dont la mise en action *seule* peut faire entendre, ne serait pas affecté par ces vibrations de l'air arrivant à l'oreille.

Les considérations précédentes conduisent à reconnaître que les sensations de coloration, pour nous en tenir à celles-là, dépendant intimement de l'œil de chaque observateur, il est naturel que nous ne voyions pas tous les couleurs de même et que deux personnes mises en présence d'un corps lumineux puissent le voir avec des couleurs très-différentes, et ceci, bien entendu, indépendamment du nom qu'on peut donner à ces couleurs. Supposer le contraire serait admettre entre tous les yeux une identité absolue qu'il ne viendra à l'esprit de personne de considérer comme possible. L'observation journalière montre, du reste, de grandes différences à cet égard, et l'on sait que tous les yeux n'ont pas la même sensibilité, la même délicatesse pour apprécier la différence entre deux teintes à peu près semblables. On peut citer cet exemple fameux des fabricants de mosaïques, à Rome, qui ont à leur disposition *soixante-dix mille* teintes diverses, qui savent les distinguer, et qui, prétend-on, trouvent encore, dans cette suite considérable, des lacunes qu'ils apprécient nettement.

Il existe, au contraire, certaines personnes qui, non-seulement ne peuvent distinguer les nuances d'une même couleur, mais qui même ne voient pas les couleurs, ou, pour mieux dire, qui les confondent. Il en est pour qui les sensations produites par le rouge et par le vert sont identiques; d'autres qui ne distinguent absolument que deux couleurs auxquelles elles rapportent toutes les autres. Cette curieuse affection de la vue est communément appelée *daltonisme* du nom du physicien Dalton, qui l'a étudiée sur lui-même.

Sans atteindre ce degré extrême, nous le répétons, il est des yeux qui ne peuvent apprécier certaines teintes. Ce fait vient d'être vérifié une fois de plus par M. Mascart, qui étudiait, pour les photographier, les raies du spectre situées au delà du violet[1].

On sait, depuis Herschell, que le violet, qui correspond à peu près à la raie H de Fraunhofer, n'est pas de ce côté la dernière couleur visible, et que, en se plaçant dans des conditions convenables, on peut apercevoir une couleur plus faible d'intensité et dont la coloration est *gris lavande*. Cette partie du spectre agit énergiquement sur les corps susceptibles de se décomposer chimiquement sous l'action de la lumière. M. Mascart, dans une intéressante série de recherches, parvint à la photographier et y reconnut l'existence de raies dont il obtint la position exacte. Il reconnut que la partie douée d'activité chimique s'étend bien plus loin qu'on ne l'avait supposé d'abord, et qu'il est possible de voir le spectre jusqu'aux limites données par l'épreuve photographique; l'œil aperçut même la dernière portion et y put reconnaître des raies que la photographie était impuissante à reproduire.

Mais, précisément, dans cette étude, des différences considérables se manifestèrent entre les observateurs; un petit nombre, trois seulement sur une trentaine, arrivèrent à distinguer la partie la plus extrême; les autres virent des étendues plus ou moins considérables de ce spectre, puis cessèrent d'apercevoir les teintes, qu'un autre distinguait aisément; on ne put, au reste, signaler aucune relation entre cette faculté de distinguer les couleurs et la nature de la vue, myope ou presbyte.

Les mêmes différences furent signalées pour la nature de la coloration; tandis que les personnes qui voyaient le moins bien le

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXVIII.

spectre indiquaient une coloration gris lavande à peu près uniforme, celles qui avaient une plus grande délicatesse de la vue reconnaissaient, pour les parties avoisinant la raie H, une teinte rose pourpre à laquelle succédait seulement le gris lavande.

S'il a été possible de signaler des différences certaines dans la manière dont on voit les couleurs, on n'a pu et l'on ne pourra pas mettre en évidence les différences dans les intensités lumineuses absolues : autrement dit, si l'on peut reconnaître que certains yeux n'ont pas la même sensibilité pour distinguer l'égalité ou l'inégalité de deux lumières, on ne pourra point montrer que, dans chaque cas, ils éprouvent la *même* sensation d'intensité; on a pu, de même, prouver que certains yeux séparent également ou non des différentes nuances, on ne pourra pas savoir si, pour une même nuance, ils voient la *même* couleur. Ce sont là des phénomènes entièrement subjectifs sur lesquels chacun ne peut avoir que sa propre expérience et ne peut consulter que ses souvenirs personnels, sans qu'il soit même possible d'affirmer que l'on ait ainsi des repères immuables.

II

Cette question de la nature des sensations en général, et, en particulier, de la coloration et de l'intensité lumineuse, se complique encore, si l'on veut l'étudier comparativement chez les hommes et chez les animaux. Il est reconnu que ces derniers ont à quelques égards des perceptions dans des circonstances où nous n'en éprouvons aucune : il suffit de rappeler, à cet égard, la facilité avec laquelle des animaux noctambules se meuvent dans les ténèbres alors que l'homme ne distingue absolument rien dans une obscurité qui lui semble complète. Faut-il admettre que ces animaux ont un sens particulier, ou simplement qu'ils ont un degré de sensibilité bien supérieur au nôtre au point de vue des perceptions lumineuses, comme d'autres, le chien de chasse, par exemple, pour les perceptions olfactives. C'est cette dernière idée qui a cours actuellement.

Mais, sauf ces cas extrêmes où l'animal perçoit évidemment quelque chose dont nous n'avons nulle notion, la comparaison est des plus difficiles, pour ne pas dire plus. Comment avoir un

terme de comparaison entre nos sensations et celles des animaux, quelque supérieurs que nous les considérions ? Il manque la possibilité de les comprendre, si tant est qu'ils puissent manifester *nettement* la nature de leurs perceptions, ce qui n'est pas absolument prouvé.

Écartons l'idée de coloration, de nuance, qui paraît plus délicate, et ne considérons que la notion de l'intensité lumineuse, certainement plus simple ; et même simplifions encore la question : ne nous demandons pas s'ils ont pour la comparaison des intensités lumineuses une sensibilité inférieure ou supérieure à la nôtre, mais cherchons seulement si des rayons lumineux, qui manifestement nous paraissent différents d'intensité et présentent une gradation déterminée, ont le même caractère pour les animaux ; si, par exemple, dans le spectre solaire, la partie jaune est la plus lumineuse pour eux comme pour nous, et même plus encore, si les parties visibles et invisibles pour nos yeux sont aussi pour les leurs visibles et invisibles. D'après ce que nous avons rappelé en commençant, le caractère de la sensation dépendant plus encore de l'activité de l'organe que de la nature de la cause, rien n'indiquait que des yeux appartenant à des animaux différents dussent avoir des sensations plus ou moins analogues. D'autre part, la comparaison ne semblait pas facile à faire. D'ingénieuses expériences de M. P. Bert[1] ont fait avancer la question qui n'est pas entièrement résolue, mais au sujet de laquelle d'importants résultats paraissent acquis. Nous allons indiquer la nature des expériences dont nous parlons et nous ferons ensuite quelques observations à leur égard.

On sait que certains animaux aquatiques sont vivement attirés par la lumière et qu'ils se réunissent dans les parties éclairées du liquide dans lequel ils vivent : M. P. Bert choisit parmi ces animaux les *daphnies puces* comme particulièrement sensibles à cette action. Il reconnut d'abord que si l'on fait arriver dans l'eau un faisceau lumineux, ces petits crustacés se pressent tous dans l'espace éclairé, abandonnant les portions obscures du liquide, ce qui met nettement en évidence l'influence de la lumière. Au lieu de faire arriver directement le faisceau solaire, on lui fit traverser un prisme qui donnait naissance à un spectre; à l'aide d'un

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXIX.

écran percé d'une fente, on pouvait laisser arriver au liquide les rayons d'une seule couleur et faire varier successivement la coloration du faisceau. Quelle que fût la couleur ainsi projetée, M. Bert vit les *daphnies puces* se rassembler dans la zone éclairée, ce qui prouvait d'abord que ces animaux perçoivent les mêmes rayons que nous; il reconnut aussi qu'aucun effet du même genre n'était produit lorsqu'on faisait arriver dans l'eau les rayons infra-rouges ou les rayons ultra-violets qui, comme nous l'avons dit, ne produisent pour nous que des effets presque insensibles. Ainsi, par ces deux expériences, on est conduit à dire que les limites de visibilité des rayons du spectre sont les mêmes pour ces animaux et pour l'homme.

Mais, dans ces limites, les différences d'intensité que nous reconnaissons leur sont-elles manifestes? Le maximum de puissance éclairante est-il dans le jaune pour eux comme pour nous? Les expériences que nous venons de rapporter semblaient l'indiquer : car l'empressement de ces animaux à se rendre dans la partie éclairée était plus grand pour le jaune que pour le rouge et surtout que pour le violet. Mais l'expérience est plus concluante encore lorsque l'on projette dans l'eau le spectre tout entier : les *daphnies* se répandent dans tout l'espace correspondant à ce spectre, mais irrégulièrement ; tandis qu'il y a foule, pour ainsi dire, dans la partie éclairée par la lumière jaune, les petits crustacés sont moins nombreux dans la lumière rouge, ils sont rares dans la lumière violette, et l'on en compte à peine quelques-uns en dehors des limites visibles du spectre.

Il résulte de ces expériences que les *daphnies puces* éprouvent des sensations lumineuses pour les mêmes rayons qui agissent sur l'œil de l'homme, et que, dans ces limites, ils semblent évaluer comme nous-mêmes les intensités relatives.

Si l'on considère que les yeux des crustacés que l'on a observés sont d'un type entièrement distinct de l'œil humain, et que, malgré les différences qui existent, les sensations sont comme limites et comme rapport d'intensité dans les mêmes conditions, il est légitime d'admettre qu'il en est ainsi dans la série animale entière et que les rayons que nous voyons, sont aussi les seuls vus par les êtres vivants sur notre globe, et qu'enfin ceux-ci jugent, comme nous, les rapports d'intensité.

Les expériences de M. P. Bert, que nous venons de rapporter

en substance, sont fort intéressantes et ne laissent pas d'être assez concluantes. N'y aurait-il pas eu cependant à y ajouter quelques recherches qui ôteraient toute prise aux objections. Il nous semble que, pour rendre la démonstration absolument complète, il eût été bon de prouver que, pour une même couleur, les *daphnies* sont attirés d'autant plus vivement que la lumière est plus intense; puis, comme réciproque dont l'utilité nous paraît incontestable, il faudrait montrer que, par exemple, des rayons bleus qui nous semblent plus intenses que des rayons jaunes obscurcis à dessein, attirent aussi davantage les daphnies. On pourrait, croyons-nous, sans cette dernière démonstration, attribuer l'action de la lumière jaune à une propriété particulière que posséderaient ces rayons, et qui, non perçue par nos yeux, le serait par les yeux d'autres animaux.

Nous le répétons, nous admettons les conclusions de M. Bert et nous n'attribuons pas à l'objection que nous venons de signaler une grande importance; mais il est bon d'épuiser une question et nous pensons que M. Bert eût pu facilement y réussir.

C. M. Gariel.

II

DE LA CHALEUR LIBRE DES INVERTÉBRÉS

ET PARTICULIÈREMENT DES INSECTES.

TRAVAUX DE M. MAURICE GIRARD.

Les animaux ne sont pas, au point de vue physique, de simples foyers de combustion, mais bien de véritables machines thermiques dans lesquelles la chaleur est utilisée sous forme de mouvement. La faculté de produire de la chaleur est la compagne inséparable de leur faculté caractéristique de se mouvoir. Lorsque l'animal est en mouvement, une partie de sa chaleur se convertit en travail mécanique, et tant que celui-ci dure, la combustion intérieure augmente dans une proportion plus grande que la cha-

leur libre, qui n'est en quelque sorte qu'un résidu des effets du travail chimique interstitiel.

C'est aujourd'hui un fait certain que tous les animaux, quelle que soit la classe à laquelle ils appartiennent, dégagent de la chaleur. Partout, aussi, le pouvoir calorifique se montre variable avec l'activité de la respiration comme avec la fréquence et l'énergie des contractions musculaires.

Lorsque les petits animaux à faible chaleur propre sont réunis en grande masse, et qu'ils peuvent ainsi opposer une résistance plus efficace aux causes de refroidissement, l'existence de leur température naturelle peut facilement être démontrée. Ainsi, dans des ruches d'Abeilles, dans des nids de Guêpes, de Bourdons et de Fourmis, et en général dans tous les espaces clos, à parois peu conductrices, où des insectes sont en nombreuse société, on a toujours vu de notables excès de température sur l'air ambiant. Dans certains cas même, la différence a pu s'élever jusqu'à 15 degrés.

Même à l'air libre le dégagement de chaleur est encore sensible. Ainsi M. Regnault constata que le thermomètre, plongé au milieu de Hannetons logés dans un sac à claire-voie, s'élevait de deux degrés au-dessus de la température extérieure. D'un autre côté, les pêcheurs à la ligne savent très-bien que les larves dont ils se servent comme amorce, leur font éprouver une sensation de chaleur, lorsqu'ils les versent de la boîte qui les renferme en grand nombre, dans la main engourdie par le froid.

Les Mollusques et les Zoophytes eux-mêmes présentent aussi, lorsqu'ils sont groupés en masse, des excès sensibles sur la température environnante. Péron, lors de son voyage aux terres australes, vit un thermomètre monter de 3 degrés dans un filet où étaient rassemblés de nombreux Zoophytes, la plupart phosphorescents. Des faits analogues ont été observés à l'égard des Colimaçons, etc.

Ces diverses données suffiraient déjà pour mettre hors de doute la production de chaleur dans chaque individu isolé, si la résistance de beaucoup d'entre eux, et notamment d'un certain nombre d'Insectes, aux abaissements de température ne venait en offrir une nouvelle démonstration.

Spallanzani constata que les Abeilles peuvent rester plusieurs heures à deux et même à quatre degrés au-dessous de zéro

sans geler, leur chaleur naturelle suffit pour les maintenir au-dessus de la température de l'élément ambiant. « Sur les terres glacées, sur les glaces elles-mêmes, dit M. Blanchard, là où toute existence nous semble impossible, et où, dans la saison la moins rigoureuse, s'aventurent seules quelques familles d'Esquimaux, s'agitent encore des myriades d'Insectes. Leurs espèces ne sont pas nombreuses dans ces régions désolées, mais, par une sorte de compensation, les individus de chaque espèce se montrent en immenses légions. » C'est le cas, notamment, de plusieurs espèces de Diptères de la famille des Cousins. De même, certaines Podurelles vivent en troupes sur les neiges, et une espèce particulière de Désorie n'a pas d'autre lieu d'habitation que les fissures des glaciers. Nicolet ayant congelé de l'eau où il avait placé plusieurs Podurelles, vit ces Insectes revenir à la vie après douze heures de séjour dans la glace.

Les premières expériences qui démontrent la production de chaleur chez les individus isolés sont dues à Haussmann (1803). Il plaça un individu parfait du Sphinx du Liseron dans une fiole de verre avec un petit thermomètre à côté; la température de l'air extérieur étant de 17 degrés Réaumur, au bout d'une demi-heure la température dans le bocal était montée à 19 degrés. Il répéta l'expérience avec un groupe de six individus du Carabe des jardins et trouva un résultat analogue. En 1826, des observations nouvelles sur des animaux articulés pris isolément, furent faites par John Davy, soit au Cap, soit à Ceylan : la boule très-fine d'un petit thermomètre à mercure était introduite dans le corps de l'animal par une incision faite au moment de l'expérience. Mais on ne peut avoir confiance dans les résultats obtenus, vu l'état anomal où se trouvait le sujet par suite de la lésion et vu aussi le refroidissement causé par l'évaporation du liquide qui s'épanchait de la blessure.

Nobili et Melloni, dans les études qu'ils firent en 1831 sur les chaleurs dégagées par les plus faibles sources, eurent l'idée de s'adresser aux animaux articulés de petite taille; mais, rejetant toute mutilation, ils se contentèrent de soumettre leur merveilleuse pile thermométrique au rayonnement de divers Insectes, placés successivement un à un au foyer principal d'un miroir sphérique en laiton, inséré à l'extrémité d'un des cônes protecteurs de la pile. Environ quarante individus de tous les ordres et aux divers

états de métamorphose furent étudiés, et tous donnèrent, dans le sens calorifique, des écarts de l'aiguille aimantée du galvanomètre. Les deux physiciens en conclurent que la théorie qui attribue la chaleur animale à une combustion lente s'opérant dans le sein de l'être vivant, trouve sa confirmation jusque chez les plus petits animaux.

M. Becquerel, en 1844, au milieu d'une assez grande quantité d'expériences sur les Vertébrés, fit cinq ou six observations sur des Insectes à l'aide des aiguilles thermo-électriques qu'il a maniées avec tant d'habileté. A cause de la difficulté où l'on se trouve d'avoir une complète identité dans les pouvoirs thermo-électriques des deux soudures, il eut soin de contrôler chaque fois ses observations, à l'aide du thermomètre à mercure. La température extérieure étant de 22 degrés, une des soudures fut placée dans le sens de la longueur d'un Cancrelat (Blatte des cuisines), et l'autre maintenue dans l'air, M. Becquerel obtint ainsi une différence de température de 0°,75 en faveur de l'animal. Une larve d'un Scarabée (Oryctes nasicornis), un Ver à soie, une larve de Sphinx tête de mort (Acherontia atropos), donnèrent de même des excès respectivement égaux à 1°,5 ; 1° et 1°,66.

Toutes les personnes qui ont capturé des Sphinx savent que ces Lépidoptères à vol puissant font éprouver une sensation de chaleur lorsqu'on les saisit entre les doigts pour les retirer du filet. Un entomologiste belge, M. le docteur Breyer (1859), frappé de ce fait, eut l'idée de déterminer la température intérieure de ces grands Insectes. Un d'eux ayant été pris, fut fendu longitudinalement avec un scalpel, et le réservoir d'un thermomètre centigrade qui marquait 17 degrés, ayant été enfoncé entièrement dans la blessure, le mercure monta en une minute à 27 degrés. M. Breyer croit même, en tenant compte de la chaleur perdue absorbée par le thermomètre, pouvoir évaluer au minimum à 32 degrés la température propre du Sphinx. M. Lecoq, de la faculté de Clermont, estime, de son côté, que la température acquise par les Sphinx, lorsque, par de rapides vibrations des ailes, ils se soutiennent au-dessus des fleurs en position de vol stationnaire, peut surpasser celle de l'homme et atteindre au moins la température du sang des oiseaux.

Mais ces diverses observations isolées ne diminuent en rien l'importance des travaux de Newport qui est de tous les natura-

listes celui qui nous a fourni le plus grand nombre de faits relatifs à la chaleur libre des Invertébrés.

Ses recherches, dont nous aurons occasion de parler, quoique faites avec des instruments de mesure peu sensibles, n'en ont pas moins une grande valeur à cause des résultats comparatifs.

Ses expériences les plus célèbres à cet égard sont celles qui ont démontré le pouvoir de calorification volontaire des Bourdons, des Abeilles et autres sociaux nidifiants, pouvoir qui se manifeste d'une manière très-évidente surtout au moment de l'incubation des larves et des nymphes. Des thermomètres glissés sur le ventre des bourdons couveurs indiquèrent des excès de température de six degrés au-dessus de la température des cellules non couvées. Ce surcroît de chaleur libre est d'ailleurs en rapport avec la plus grande activité de la respiration, qui s'accuse par les mouvements précipités des arceaux de l'abdomen porteurs des stigmates. Une fois éclos sous l'influence de cette chaleur entretenue sans relâche, les jeunes bourdons se montraient avec leur petit corps mou tout imprégné de sueur, et très-sensible au moindre courant d'air : aussi les voyait-on se glisser parmi les autres bourdons pour se réchauffer.

Cette excitation qui accompagne la naissance des jeunes peut faire monter la température du nid ou de la ruche jusqu'à 35 degrés et lui donner un excès d'environ 15 degrés sur la température extérieure. La chaleur est quelquefois telle, que les couveurs sentent le besoin de se ventiler. On les voit alors se porter vers l'entrée de leur habitation, se cramponner aux parois, et agiter leurs ailes avec une rapidité assez grande pour que l'œil ait de la peine à en suivre les oscillations. L'excès de température s'abaisse dans les moments de calme et de repos, et notamment lorsque les Bourdons et les Abeilles tombent dans l'engourdissement hibernal, toujours accompagné d'une suspension presque complète de la respiration. Newport a trouvé de même des excès de 14 à 15 degrés sur l'air extérieur au milieu d'un guêpier, et de 13 degrés dans une fourmilière.

Le physiologiste anglais, dans ses recherches sur la température des individus isolés, put établir que cette température est toujours sensiblement supérieure à celle du milieu ambiant, et qu'elle varie avec l'activité musculaire et respiratoire, comme aussi avec l'âge de l'individu et son alimentation. Mais si la valeur des

résultats comparatifs des expériences de Newport est incontestable, on ne peut guère avoir confiance dans les nombres absolus, car ses méthodes laissaient trop de prise aux influences perturbatrices, et ses moyens d'investigation, bornés à l'emploi du thermomètre à mercure, n'offraient pas, dans la plupart des cas, une sensibilité suffisante.

Un entomologiste distingué, M. Maurice Girard, professeur au collége Rollin, résolut de compléter et de corriger le mémoire de Newport, et de combler les lacunes qui existaient dans nos connaissances touchant la calorification individuelle des Invertébrés, en déterminant avec autant de précision que pour les types de l'embranchement supérieur, les relations qui unissent la température propre de ces animaux avec leur état physiologique et leur travail musculaire. Il était urgent d'ailleurs de mettre au service de cette étude les instruments sensibles dont la physique a doté la physiologie dans ces derniers temps. Cet article a pour but de résumer les principaux résultats obtenus par M. Girard dans la première série de travaux qu'il vient de publier.

I

MÉTHODES EXPÉRIMENTALES.

Un thermomètre à mercure, de construction spéciale, peut être employé pour les Insectes de forte taille, ou même de dimensions moyennes. Le réservoir est nécessairement très-court et très-étroit, et la masse de mercure qu'il contient aussi faible que possible, afin de réduire jusqu'à ses dernières limites le refroidissement de contact. L'appareil possède conséquemment un tube excessivement fin, divisé au moins en dixièmes de degrés.

Dans les recherches qu'il fit avec le thermomètre, M. Girard a procédé, soit par application du réservoir à la surface du corps ou de ses diverses parties, soit par introduction dans le gros intestin où l'instrument se trouve alors sûrement à l'abri des influences extérieures.

M. Girard a complétement rejeté le procédé par incisions longitudinales qui ne peut fournir que des résultats erronés par suite des violentes perturbations qu'il amène dans l'état physiologique.

En outre, le liquide qui s'écoule de la large blessure cause par son évaporation, soit à la surface de la plaie, soit à la surface du réservoir thermométrique, un refroidissement très-variable et difficile à estimer.

Une des difficultés de l'usage du thermomètre à mercure réside dans la nécessité de faire concorder les indications fournies par le sujet en expérience avec celles de l'instrument qui donne la température ambiante, d'autant plus délicate à mesurer qu'elle est constamment influencée par les radiations du corps de l'opérateur. C'est pourquoi il est préférable d'employer un appareil différentiel sensible, protégé par des écrans convenables. M. Girard s'est arrêté au choix du thermomètre de Leslie, à deux boules pleines d'air, séparées par un long index liquide. L'appareil, modifié spécialement pour la circonstance, était assez sensible pour donner très-facilement le quarantième de degré.

L'Insecte, dont les mouvements sont libres, est logé dans une ampoule de verre extrêmement mince, où l'air peut se renouveler facilement à l'aide d'un tube suffisamment large. On évite ainsi les troubles physiologiques résultant de l'accumulation de la chaleur comme de la viciation du fluide respirable.

Cette ampoule s'adapte à l'intérieur d'une des boules du thermomètre différentiel de Leslie, protégé contre les radiations extérieures par une couche de substance d'un pouvoir absorbant nul, et faisant participer le verre à son athermanité. Le volume de l'air intercalé entre ces deux sphères concentriques, est égal à celui de la seconde boule du thermomètre. Mais ce fluide, par suite de sa très-faible masse, absorbe beaucoup moins de chaleur à l'insecte que le mercure, en quelque petite quantité qu'il soit, des instruments ordinaires employés par Newport.

Le thermomètre différentiel à air ainsi modifié est d'un emploi avantageux dans la mesure de la chaleur rayonnée par l'ensemble du corps de petits animaux. Ainsi, la température extérieure étant 16°,4, une femelle très-active de Bourdon d'un poids de 7 décigrammes seulement fournit un excès de 4°,35 sur l'air ambiant. Mais la lenteur du fonctionnement de cet instrument le rend impropre à beaucoup d'observations, et sa disposition ne lui permet pas de déterminer les températures locales.

L'exquise sensibilité des appareils thermo-électriques fait de cette troisième classe d'instruments de recherche la plus apte à

donner des indications à la fois rapides et précises dans l'évaluation d'une chaleur propre aussi faible, dans la plupart des cas, que celle des Insectes. Les nombreuses formes, ainsi que la grande variété de dimensions qu'on peut leur donner, les rend d'un emploi pour ainsi dire universel. Une Coccinelle, dont le poids est à peine d'un centigramme, suffit pour impressionner une pile de barreaux de bismuth et d'antimoine. Depuis Nobili, on est parvenu à obtenir des appareils thermo-électriques d'une bien plus grande sensibilité que ceux qu'il construisait avec ces deux métaux purs. Ainsi M. Lombard, aux États-Unis, s'est servi de couples constitués de bismuth et d'un alliage de 64 parties d'antimoine et de 36 de zinc, et formant un appareil quatre fois plus sensible que celui de Nobili. M. Ruhmkorff possède actuellement des alliages qui donnent, ainsi que l'a observé M. E. Becquerel, jusqu'à trente fois plus de sensibilité que les anciennes piles ; avec un tel instrument, on peut, dit M. Girard, constater de la chaleur chez une Puce. Une délicatesse aussi grande impose évidemment à l'expérimentateur les précautions les plus minutieuses et l'oblige à éviter le moindre échauffement accidentel, soit par rayonnement, soit par conductibilité.

Pour comparer les inégales températures de deux régions superficielles d'un Insecte, M. Girard s'est servi de préférence d'une petite pile articulée, en forme de pince, et pouvant ainsi facilement donner des effets différentiels. Pour les températures intérieures, toutes les fois que les faibles dimensions de l'animal s'opposaient à l'introduction du thermomètre dans le tube digestif, l'emploi d'aiguilles thermo-électriques très-fines fournit des résultats satisfaisants ; les lésions, très-faibles d'ailleurs, causées par l'introduction de ces aiguilles, ne peuvent avoir des effets bien graves pour le petit être, et amener chez lui un trouble physiologique bien sensible, puisque l'on voit des insectes percés d'épingles vivre parfaitement plusieurs mois, et même subir ainsi leur métamorphoses.

Pour la chaleur superficielle de l'ensemble du corps, M. Girard prit, selon les dimensions des animaux, trois espèces de piles dont une cylindrique de 22 millimètres de diamètre, et de 34 couples, et deux à section carrée de dimensions ordinaires ; dans l'une de celles-ci les soudures étaient en relief sous forme de pointes mousses. La pile étant maintenue verticalement, on saisit

l'insecte à l'aide de longues pinces en bois, puis, le présentant à l'orifice du cône protecteur de la partie supérieure de la pile, on le laisse tomber sur les soudures. Les diverses pièces qui protégent la pile contre le rayonnement extérieur, ne s'opposent pas au renouvellement de l'air dans la cavité occupée par l'animal, de sorte que celui-ci n'éprouve aucune gêne, soit dans sa respiration, soit même dans ses mouvements. Notre physiologiste s'occupa surtout de se mettre en garde contre les causes d'erreurs que Nobili et Melloni n'avaient pas pris soin d'éviter. Ces deux physiciens ne s'occupaient, il est vrai, des Insectes que d'une manière accessoire, et uniquement comme preuve de l'universelle sensibilité de leur merveilleux appareil ; ils opéraient dans une masse d'air confinée beaucoup trop limitée, qui pouvait réagir sur l'animal, soit par son altération, soit par l'élévation progressive de sa température ; de plus, les insectes, placés au foyer d'un petit miroir de laiton n'agissaient sur la face de la pile que par rayonnement, et on ne sait, ainsi que le fait justement remarquer M. Girard, trop comment relier la chaleur propre avec les indications très-faibles que donnait ce rayonnement ; enfin les deux auteurs italiens, ne parlant aucunement des précautions à prendre pour placer ces petits animaux, les ont probablement échauffés avec les doigts, car M. Girard s'est assuré que maintes fois les Insectes ne sont pas assez chauds pour impressionner la pile à distance.

II

RÉSULTATS.

La comparaison des températures externe et interne montre, chez les Insectes, des différences sans analogues par leur grandeur avec celles qu'on observe chez les animaux supérieurs, et qui dénotent une extrême influence réfrigérante de l'enveloppe cutanée. Parce qu'un Articulé supérieur, tel qu'un Bourdon, n'offre par sa surface que deux à quatre degrés au-dessus de la température ambiante, il ne faut pas se hâter de l'assimiler à un Reptile ou à un Batracien, car l'Insecte, ne pesant que quelques décigrammes, les causes de déperdition sont pour lui bien plus efficaces. L'action absorbante du milieu environnant, qui tend sans

cesse à établir l'équilibre calorifique, a d'autant plus d'action sur les petits animaux que leur masse est plus faible, car la surface extérieure du corps augmente relativement au poids à mesure que celui-ci diminue.

Chez les larves ou chez les adultes à peau mince et molle, on observe quelquefois à la surface du corps une température un peu inférieure à celle qui règne dans le milieu ambiant, mais c'est qu'alors l'évaporation superficielle et la transpiration cutanée se font avec plus de facilité que chez les individus à peau dure et épaisse. Chez les chrysalides, l'évaporation qui s'effectue ainsi à travers l'enveloppe tégumentaire, s'accuse par une diminution de poids croissante.

La nécessité d'augmenter la température dans les magnaneries au moment des mues du Ver à soie, s'explique par la délicatesse de sa nouvelle peau.

Beaucoup d'Insectes, à l'exemple des Mammifères et des Oiseaux, opposent divers moyens protecteurs au refroidissement que provoquent le rayonnement, le contact de l'air ou l'évaporation cutanée. Ainsi les Bourdons, couverts d'une épaisse fourrure, offrent à poids égal une température superficielle plus élevée que les Frelons; les chenilles poilues présentent la même différence à l'égard des chenilles rases ou simplement épineuses.

Si beaucoup de chrysalides se recouvrent d'enveloppes protectrices formées de substances conduisant peu la chaleur, c'est afin d'accumuler autour d'elle les petites quantités de calorique incessamment dégagées, et dont la conservation est indispensable à leur incubation. Les expériences de M. Girard montrent qu'au moment où les chrysalides sont retirées du cocon, elles sont au-dessus de la température ambiante; mais si on les laisse exposées à l'air, on les voit descendre au-dessous, par suite surtout de l'absorption de chaleur qui accompagne l'évaporation cutanée. L'abaissement est d'autant plus prononcé que l'air est plus chaud. Cette évaporation s'atteste par des pertes de poids croissantes et proportionnelles aux pertes calorifiques de l'animal, impossibles à réparer chez la chrysalide, vu l'absence d'alimentation.

On conçoit donc la nécessité des cocons et autres enveloppes analogues pour mettre le jeune Insecte en voie de développement à l'abri des fâcheux effets de la dessiccation et du refroidissement.

Toutes les observations, quel que soit le procédé thermométrique employé, s'accordent à reconnaître que les Insectes qui dégagent le plus de chaleur, sont en même temps ceux qui sont le mieux doués sous le rapport de l'appareil locomoteur. Les Insectes tiennent, dans l'embranchement des Articulés, une place analogue à celle des Oiseaux dans l'embranchement des Vertébrés, et parmi eux, les Sphinx, les Bourdons, etc., correspondent aux Aigles, aux Albatros, aux Frégates et aux autres espèces ornithologiques à vol puissant. Sous le rapport de la richesse du sang, du développement de l'appareil respiratoire, comme de l'activité de la locomotion et de l'élévation de la température propre, les grands Lépidoptères et Hyménoptères l'emportent autant sur les autres Articulés que les Oiseaux grands voiliers sur les autres Vertébrés.

L'intime solidarité qui unit l'activité musculaire et la chaleur propre de l'organisme se révèle d'ailleurs aussi par la rapidité avec laquelle la température du corps d'un Insecte quelconque s'élève, toutes les fois qu'il est animé de mouvements violents. Ainsi le bourdonnement, lorsqu'il est dû à l'agitation rapide des ailes, et par suite à des contractions musculaires, répétées à de très-courts intervalles, s'accompagne toujours d'un excès de chaleur libre dégagée qui disparaît quand l'insecte rentre au repos, mais pour recommencer avec l'agitation. L'élévation et l'abaissement successifs de la température marchent ainsi parallèlement avec les alternatives de bourdonnement et de calme. Dans une première expérience, une femelle de l'Apiaire qui nidifie dans les vieilles poutres et qu'on nomme pour cette raison Abeille charpentière, donna, après un bourdonnement de plusieurs minutes dans la boule argentée du thermomètre différentiel, un excès de 2°,45, bien que son poids ne fût que d'un demi-gramme; le bourdonnement ayant cessé, l'excès n'était plus que de 1°,7 après trois minutes de calme. Dans une seconde expérience, une femelle de Bourdon très-active, du poids de 7 décigrammes, accusa jusqu'à 4°,35 de plus que l'air extérieur. Enfin, dans une troisième épreuve, mais faite cette fois avec la pile thermo-électrique, une autre femelle de Bourdon du poids de 41 centigrammes, fournit les résultats suivants. L'animal étant placé au repos sur la face supérieure de la pile, le galvanomètre montra dans le sens du chaud une première déviation de 58°; puis l'insecte s'étant

mis à bourdonner dans l'intérieur de la petite boîte métallique où il était logé, l'écart de l'aiguille aimantée augmenta progressivement jusqu'à 79° ; le petit animal cessant un moment de s'agiter, l'angle se réduisit à 73° ; deux nouveaux bourdonnements donnèrent successivement 80° et 81°, et l'intervalle de calme qui les sépara correspondit à un écart de 74°. Dans beaucoup de ces expériences avec des Insectes très-actifs, la déviation initiale atteignit la limite extrême de 90°.

Les mâles des Bombyx, beaucoup plus agiles que les femelles, et remarquables par l'impétuosité avec laquelle ils volent durant plusieurs heures consécutives, accusent au thermomètre différentiel ou à la pile une température plus élevée que les femelles, et cela en dépit de leur moindre masse, souvent jusqu'à trois fois plus faible que celle de leurs indolentes compagnes.

Les Libellules, les Fourmilions et autres Névroptères à vol rapide, si remarquables par leurs ailes en continuelle vibration, ne le cèdent sous le rapport de la production de chaleur qu'aux Bourdons et aux autres Hyménoptères bons voiliers. Les Insectes marcheurs ne donnent relativement que de très-faibles excès. Quant aux individus en état de sommeil hibernal, c'est à peine si les appareils les plus sensibles révèlent une différence en leur faveur sur le milieu environnant. Constamment donc la chaleur propre se montre chez les Insectes comme chez les Vertébrés, en relation intime avec l'activité musculaire.

Une autre série de recherches de M. Girard est venue apporter un nouvel argument des plus convaincants à la dépendance étroite de ces deux phénomènes. Ce physiologiste s'est occupé de déterminer, à l'aide des appareils sensibles dont il s'était muni, les rapports des températures des diverses régions du corps des Insectes. Les résultats qu'il a consignés à cet égard dans son mémoire en constitue la partie la plus originale et la plus instructive.

Chez les larves, et notamment chez les chenilles, les masses musculaires sont à l'exemple des centres nerveux et du système trachéen, à peu près également réparties dans les divers segments du corps. Aussi la déviation du galvanomètre se montre-t-elle proportionnée au nombre des anneaux qu'on met en contact avec la face de la pile.

Mais chez les adultes, et notamment chez les grands voiliers,

on trouve au thorax des muscles d'une grande puissance, siéges d'une active combustion, et une centralisation nerveuse en rapport avec le développement remarquable de l'appareil locomoteur ; l'abdomen, au contraire, souvent occupé par de vastes ampoules contenant le comburant de réserve, ne possède que des muscles médiocres dont la faiblesse s'explique d'ailleurs par l'inertie de cette partie du corps pendant le vol. Or ces deux régions, le thorax et l'abdomen, présentent sous le rapport de la température des différences analogues à celles qu'elles offrent au point de vue de la complication de leur appareil mécanique.

Les expériences démonstratives ont été faites sur des grands Sphinx, à l'aide du thermomètre à mercure spécial que nous avons décrit. L'insecte, après plusieurs heures de séjour dans le laboratoire, est placé et maintenu au milieu d'une masse de duvet à l'aide d'une longue pince en bois, et de façon à le mettre à l'abri des échauffements par rayonnement et conductibilité. Un mince thermomètre lui étant alors introduit après précaution dans l'abdomen par le gros intestin, on note la température stationnaire à laquelle parvient bientôt l'instrument ; puis, par un léger effort, on fait pénétrer le réservoir dans le thorax, et de manière à ce qu'il y soit contenu tout entier : « On est aussitôt frappé, dit M. Girard, d'une augmentation considérable, acquise en moins d'une seconde, le mercure est lancé subitement ; de sorte que la chaleur forme *comme un foyer* dans le thorax. » Citons quelques exemples à l'appui. Chez un Sphinx femelle du Liseron d'un poids de 1gr,563, le thermomètre introduit dans l'abdomen s'éleva de 26° température extérieure (mois d'août) à 31°,4, puis poussé dans le thorax, monta en moins d'une seconde à 37°. Chez un autre individu mâle de la même espèce, et pesant 1gr,413, la température ambiante étant de 19° (mois de septembre), l'instrument marqua 24°,4 dans l'abdomen, puis dans le thorax s'éleva subitement à 30°,3, puis à 31°,1. Chez une seconde femelle, très-vive, et pesant 1gr,756, l'air extérieur étant à 20°,5, le mercure stationne dans l'abdomen à 21°,4, puis s'élève dans le thorax jusqu'à près de 31°, où il reste une demi-minute pour redescendre ensuite lentement, à mesure que l'animal s'affaiblit ; au bout d'une minute il est à 29°,5, puis, dix secondes après à 28°, où il stationne environ une minute, après quoi il est retiré. Une autre expérience intéressante, vu le faible poids de l'insecte (0gr,884) et

son état d'affaiblissement par suite de meurtrissures subies pendant la capture, et vu aussi l'élevation extérieure de la température (25°,2, mois de juillet), a été encore faite par M. Girard sur un individu mâle du Sphinx du Troëne. Le thermomètre introduit dans le gros intestin monta de 25°,2 à 26° en quelques secondes, puis poussé dans le thorax s'éleva en moins d'une demi-seconde à 30° pour y stationner quelque temps. Ainsi, chez les Lépidoptères à vol puissant, l'excès thoracique qui atteint habituellement 4 à 6 degrés, peut s'élever parfois jusqu'à 8 et 10 degrés dans les cas de grande vitalité.

Des expériences analogues répétées sur de mauvais voiliers, tels que les Sauterelles, les Courtilières n'ont donné, comme différence de température entre le thorax et l'abdomen, que des excès pour ainsi dire nuls, et égaux tout au plus à un degré. Chez les Insectes à vol moyennement énergique, comme les Bombyx, l'excès thoracique n'atteint plus que deux à trois degrés.

L'emploi d'un thermomètre ne peut s'adresser qu'aux espèces d'une certaine taille. Pour les bons voiliers de petites dimensions, on ne peut recourir qu'à l'emploi des aiguilles thermo-électriques introduites avec le moins de lésion possible, l'une dans le thorax et l'autre dans l'abdomen; dans beaucoup d'expériences faites ainsi par M. Girard sur des Bombyx, l'aiguille aimantée, après avoir butté contre l'arrêt fixé à 90°, resta durant plusieurs minutes stationnaire entre 75 et 80°, et la différence était toujours en faveur du thorax. Le même observateur modifia sa manière d'opérer en plongeant une des soudures dans l'abdomen et en laissant l'autre dans l'air; le galvanomètre donna alors 80 à 85° dans le sens du chaud pour l'abdomen; cette seconde soudure ayant été ensuite placée dans l'intérieur du thorax, l'aiguille aimantée tourna en sens inverse pour être lancée de l'autre côté du zéro et venir butter avec force contre l'arrêt situé en regard du point 90°. M. Girard expérimenta encore, et sans lésion aucune, par voie d'application à la surface des tronçons moyen et postérieur du corps. Les soudures de deux paires de barreaux mobiles, formés d'alliages très-sensibles, donnèrent constamment des déviations toujours en faveur du thorax, atteignant parfois 80°, et changeant de sens avec le croisement des soudures.

Un thermomètre à mercure très-sensible mis en contact avec la face inférieure du thorax, puis de l'abdomen de plusieurs

grands Sphinx fournit des résultats analogues. Ainsi, un thermomètre placé sous l'abdomen d'un Sphinx à tête de mort monta en huit minutes de 16°,8 à 19°,1, puis, sur le sternum, à 21°,5 en trois minutes. Pour contrôler cette indication à l'aide des températures intérieures, l'insecte fut incisé longitudinalement, et un second thermomètre qui marquait 16°,3 ayant été introduit dans le thorax, s'éleva jusqu'à 29°,3 pour redescendre rapidement par l'effet du grand affaiblissement de l'animal.

Les médiocres voiliers ont toujours, dans ces diverses manières de procéder, donné les indications les plus faibles.

L'excès de chaleur de la région moyenne du corps tend surtout à se conserver chez les Insectes tels que les Guêpes et surtout les Sphex, les Pélopées, les Fènes, etc., où l'abdomen n'est uni à la partie antérieure que par un mince et long pédicule certainement peu favorable à l'établissement de l'équilibre calorifique, soit par conductibilité, soit à l'aide des courants sanguins.

Il est à remarquer que la différence entre le thorax et l'abdomen, au point de vue de la température, ne provient pas de quelque erreur constante due au mode d'observation, puisque les instruments thermométriques les plus divers s'accordent pour la constater. Ces diverses épreuves attestent donc bien le rapport le plus direct et le plus intime entre la puissance musculaire du vol, et la chaleur localisée par cette fonction dans la poitrine de l'Insecte.

Cette prédominance calorifique du thorax doit évidemment s'atténuer lorsque l'Insecte cesse d'être maintenu par les appareils, et lorsque, s'apitoyant sur ses nombreux efforts, l'expérimentateur le laisse libre de satisfaire son désir si manifeste de s'échapper. Une fois qu'il a pris son vol, une partie de l'excès de chaleur du thorax se convertissant en travail mécanique effectif, l'aiguille aimantée du galvanomètre devra revenir vers le zéro et indiquer une perte de chaleur dans l'appareil locomoteur des organes du vol. C'est là un résultat de la plus haute importance au point de vue de l'équivalence dynamique de la chaleur, et que M. Girard se propose de vérifier dès que le retour de la belle raison lui aura permis de nouveau de se procurer de gros Sphinx. De très-légères aiguilles thermo-électriques en forme de fers de flèches, et ainsi facilement retenues dans le thorax et dans l'abdomen pourront, pen-

dant le vol, rester reliés au galvanomètre, grâce à des fils longs et flexibles.

Mais quel que soit le succès destiné à cette expérience ingénieuse, M. Girard n'en aura pas moins bien mérité de la physiologie. Son travail sur la chaleur libre des Invertébrés étend à ces animaux les lois démontrées depuis longtemps à l'égard de types de l'embranchement supérieur, et vient ainsi fournir une nouvelle preuve de l'universalité, et par suite de l'exactitude, de cette belle théorie de la chaleur animale fondée par Lavoisier et complétée par Mayer.

E. VIGNES.

III

L'ESSENCE DE TÉRÉBENTHINE, ANTIDOTE DU PHOSPHORE.

TRAVAUX DE M. PERSONNE.

Il semble que la puissance de la mode ne s'exerce pas seulement sur les questions de toilette où son influence est incontestable et incontestée, mais qu'elle régit les sujets qui pourraient sembler tout d'abord devoir échapper le plus complétement à son domaine : il y aurait de curieuses recherches à faire, par exemple, sur la manière dont la mode réagit sur l'emploi des médicaments qui, souvent, sont abandonnés tout d'un coup ou reviennent en faveur sans que l'on puisse trouver de raisons plausibles de cet abandon ou de cette recrudescence de succès. On pourrait presque dire que la mode étend aussi son action sur les *poisons*, et que, suivant les époques, les crimes par empoisonnement sont produits par des substances diverses. A un certain moment, les poisons végétaux furent souvent employés, puis l'acide arsénieux, sous le nom d'arsenic, les remplaça ; aujourd'hui, c'est au phosphore que les criminels s'adressent presque toujours. Mais on peut trouver des explications raisonnables de ces changements sans supposer à la mode une influence incompréhensible : il suffit d'un procès célèbre dans lequel les avocats pour et contre se

sont longuement étendus sur les propriétés d'un poison, la manière de l'obtenir, la difficulté de reconnaître sa présence, pour que cette substance soit aussitôt employée. D'un autre côté, la possibilité de se procurer la matière toxique et la facilité plus ou moins grande d'en acquérir sans éveiller les soupçons, comme cela est facile à concevoir, ont une grande part dans le choix du poison auquel les criminels ont recours. Ces dernières raisons expliquent surtout l'emploi actuellement si fréquent du phosphore : les allumettes, qui sont maintenant répandues partout, et qui sont d'un prix peu élevé, fournissent presque exclusivement ce corps toxique, ainsi qu'il résulte des affaires qui sont déférées aux tribunaux.

Les effets funestes des empoisonnements peuvent, dans un grand nombre de cas, être évités par l'ingestion de contre-poison convenablement choisis et employés en temps utile ; malheureusement on ne connaît pas encore l'antidote de chaque substance toxique, et l'art reste alors impuissant. Jusqu'à ces derniers temps, le phosphore était un de ces poisons contre l'action desquels on ne pouvait agir d'une manière certaine, et il n'existait pas un remède spécifique contre les effets qui se manifestent après l'absorption de cette substance. Aujourd'hui, et l'on ne saurait trop le répéter, on possède cet antidote, c'est l'*essence de térébenthine*, comme cela a été démontré par M. J. Personne [1]. Ce résultat mérite d'être vulgarisé, car, si dans le cas d'empoisonnement criminel le médecin est généralement appelé tardivement, il n'en est plus de même dans les cas, trop fréquents, d'empoisonnements accidentels : le malade sait alors en général, il soupçonne au moins la cause de ses souffrances ; il serait bon que non-seulement le médecin, mais toute personne fût capable d'indiquer un remède certain. Il existe enfin des intoxications qui ne sont ni criminelles ni accidentelles, mais que l'on peut appeler professionnelles qui se produisent lentement et continuement chez les ouvriers appelés à manier à chaque instant des substances dangereuses : le phosphore, en particulier, cause aux ouvriers qui s'en servent dans leur travail une maladie des os, et spécialement une nécrose des maxillaires. L'essence de térébenthine sera employée dans ce cas, non pas comme remède, après

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 1er mars 1869.

l'empoisonnement, mais préventivement et de manière à s'opposer à l'action toxique : ce procédé a été déjà employé à Straffort, et, d'après les observations de M. Letheby, les effets ont été complétement satisfaisants.

M. le docteur Audant a publié, l'an passé, un fait singulier : un homme, voulait se suicider; pour hâter sa mort, il avala successivement du phosphore, puis de l'essence de térébenthine, et l'action toxique du phosphore fut neutralisée.

C'est guidé par ces observations et guidé aussi par des considérations théoriques, sur lesquelles nous reviendrons, que M. Personne fut conduit à instituer des expériences destinées à mettre hors de doute l'influence de l'essence de térébenthine. Ces expériences paraissent décisives ; on fit avaler des doses variables de phosphore à trois chiens, choisis autant que possible de même force et de même taille ; une certaine quantité d'essence de térébenthine fut donnée en même temps à l'un d'eux ; un autre ne la prit que quelques heures plus tard, et le troisième n'en reçut pas du tout. Dans les diverses séries d'expériences faites successivement, le troisième chien mourut toujours; les chiens auxquels on avait donné l'essence guérirent presque tous (huit sur dix) après avoir été plus ou moins malades : il semble même que les insuccès doivent être attribués aux mauvaises conditions dans lesquelles se trouvaient les chiens qui ont succombé, la température étant fort basse à l'époque où ils ont été empoisonnés.

Ces résultats semblent fort concluants, et l'on peut considérer l'essence de térébenthine comme l'antidote du phosphore.

L'explication de l'action de l'essence repose sur une hypothèse que, depuis, M. Personne a vérifiée, et sur un fait connu depuis longtemps. M. Personne admettait que, dans les cas d'empoisonnement par le phosphore, ce corps, passant dans le sang où il l'avait retrouvé par des analyses convenables, y brûle lentement en s'emparant de l'oxygène dissous et empêche ainsi l'hématose, c'est-à-dire qu'il s'oppose aux modifications que détermine l'introduction de ce gaz dans l'organisme ; la mort doit donc survenir comme dans le cas d'une asphyxie par l'acide carbonique et par privation d'oxygène, qui est, on le sait, l'agent actif dans la respiration.

L'autopsie des chiens tués lentement par le phosphore dans les expériences de M. J. Personne a permis de reconnaître, dans

la plupart des organes, une dégénérescence graisseuse qui est caractéristique.

M. Personne a étudié directement l'action du phosphore divisé sur du sang artériel ; il a reconnu que sous son influence ce liquide perd sa couleur rouge caractéristique et devient semblable à du sang veineux ; en outre lorsqu'on le met en présence d'une atmosphère de gaz oxygène, il conserve sa coloration violacée et ne redevient pas rutilant comme il arriverait s'il ne contenait de phosphore.

D'autre part, il résulte d'expériences qui remontent à Vauquelin que les vapeurs d'essence de térébenthine ont pour effet d'empêcher le phosphore d'être lumineux dans l'obscurité et s'opposent, par conséquent, à la combustion lente de ce corps. On conçoit que, répandu dans l'organisme, il puisse produire le même effet, empêcher le phosphore de se combiner avec l'oxygène du sang et annihiler par suite ses effets toxiques ; le phosphore est, du reste, éliminé peu à peu par l'urine où il a été retrouvé.

Le résultat favorable des expériences de M. Personne conduisait à admettre comme très-vraisemblable l'hypothèse qu'il avait émise sur le mode d'action du phosphore. De nouvelles recherches publiées six mois après celles que nous venons de rapporter [1] sont venues confirmer pleinement ces idées théoriques.

M. J. Personne, dans des expériences dont les résultats sont fort concluants, étudia l'action, sur les animaux, d'une substance qui, différant à tous égards du phosphore, possède cependant, comme lui, la propriété d'absorber l'oxygène : l'acide pyrogallique satisfait pleinement à ces conditions. Des quantités différentes (2 et 4 grammes) de cette substance furent données, à des chiens, en solutions étendues : ces animaux ne tardèrent pas à éprouver l'action de la solution et présentèrent un ensemble de symptômes analogues à ceux que l'on observe dans les cas d'empoisonnement par le phosphore. L'action fut d'abord rapide ; au bout de trois heures les chiens étaient couchés et sans autres mouvements que ceux du thorax ; la mort arriva au bout de cinquante et de soixante heures. L'autopsie montra dans la vessie l'existence d'un liquide noirâtre analogue à celui produit

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* 4 octobre 1869.

par l'action directe de l'oxygène sur les dissolutions d'acide pyrogallique : le foie, le cœur présentèrent les caractères de la dégénérescence graisseuse que nous avons signalée comme existant dans les cas d'empoisonnement par le phosphore.

Tout porte donc à croire que, comme l'avait pensé M. J. Personne, le phosphore agit en absorbant plus ou moins rapidement l'oxygène du sang, puisqu'une substance qui ne possède avec le phosphore qu'une seule propriété commune, celle d'absorber l'oxygène, donne lieu aux mêmes accidents, et finalement produit les mêmes effets dans l'organisme.

Dans les travaux que nous venons de résumer rapidement, il y a donc, on le voit, des résultats de deux ordres distincts ; le résultat théorique donne l'explication de certains effets et fait passer à l'état de certitude presque absolue une hypothèse qui n'était que vraisemblable ; le résultat pratique dont nous avons tâché de faire ressortir tout d'abord l'importance, c'est la découverte d'un contre-poison qui semble constant dans ses effets et qui présente à divers égards un grand intérêt.

Disons, pour terminer, que depuis les premiers travaux de M. J. Personne, deux occasions se sont présentées dans les hôpitaux de vérifier l'action bienfaisante de l'essence de térébenthine dans des cas d'empoisonnement par le phosphore : dans les deux cas, les malades furent sauvés.

C. M. Gariel.

IV

BIBLIOGRAPHIE

LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES DE LA VIE.

Par J. Gavarret professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris[1].

Depuis quelques années, les leçons de physique, à l'École de médecine, ont été scindées et forment, en réalité, deux cours distincts. Sur trois leçons faites chaque semaine par le professeur,

1 vol. in-18. Victor Masson et fils.

deux sont consacrées à l'exposition des phénomènes physiques considérés en eux-mêmes, tandis que, dans la troisième séance, le professeur étudie tout spécialement les rapports de la physique proprement dite avec les phénomènes de la vie : l'ensemble des questions que comporte ce programme constitue la *physique biologique*. Ces dernières leçons sont très-suivies, plus même que les autres ; elles sont fort goûtées des étudiants pour lesquels les questions soulevées présentent un vif intérêt ; ils aiment à venir entendre le professeur qui sait leur présenter clairement et dans leur ensemble les questions les plus élevées.

M. Gavarret a réuni les leçons de physique biologique faites cette année à la Faculté de médecine. Le sujet est très-important et les étudiants n'ont pas seuls à s'en occuper : les *phénomènes physiques de la vie* intéressent, à un point de vue ou à un autre, toute personne qui s'occupe de science. Il ne s'agit pas d'étudier en particulier chacun des phénomènes qu'un être vivant est susceptible de présenter ; il s'agit de rechercher la cause générale de ces phénomènes : on voit immédiatement quel vaste champ est à parcourir et l'importance des questions que l'on doit traiter. Nous nous bornerons à indiquer les divisions générales de cet ouvrage, et nous engagerons les personnes qui s'intéressent à ce sujet à lire en entier le livre lui-même.

Peut-on expliquer les phénomènes *physiques* que présentent les êtres vivants par la simple transformation de ce que l'on appelle aujourd'hui les forces primordiales, à savoir la gravitation, la cohésion et l'affinité, cette transformation ayant lieu suivant le principe moderne d'équivalence ; faut-il, au contraire, supposer, pour expliquer les mêmes faits, l'existence d'une force d'une autre nature, quel que soit, d'ailleurs, le nom qu'on lui donne et qui serait surajoutée à la matière organisée et vivante.

Telle est la question qu'étudie, dans son ouvrage, M. Gavarret; elle est, il faut en convenir, des plus graves, et a déjà suscité bien des querelles, d'autant plus qu'on a lié, à tort peut-être, au triomphe de l'hypothèse d'une force vitale, la victoire d'idées religieuses telles que celle de l'existence de Dieu ou de l'âme. Tous les métaphysiciens n'admettent pas cette corrélation, d'autant que, battus en brèche, ils semblent craindre le renversement de quelques idées scientifiques auxquels on attribuait autrefois une évidence incontestée et sur lesquelles ils appuyaient tout ou par-

tie de leurs démonstrations ; quelques-uns même, et parmi ceux-ci nous citerons M. Henri Martin[1], se hâtent de conclure que les idées religieuses ou philosophiques sont susceptibles de s'accorder parfaitement avec celle des hypothèses qui subsistera, quelle qu'elle soit, d'ailleurs. Laissons, pour cette fois du moins, les conséquences que l'on peut tirer à tous les points de vue des conclusions de l'ouvrage de M. Gavarret, et occupons-nous de ces conclusions mêmes.

Les animaux vivants exécutent des mouvements, et par suite produisent du travail mécanique ; ils sont, en outre, susceptibles de développer une quantité de chaleur qui leur permet de résister au refroidissement que tend à produire le milieu ambiant dans lequel ils sont plongés : la chaleur animale et le mouvement qui en dérive trouvent leur origine dans le travail chimique qui s'exécute pendant la combustion des matières organisées des êtres vivants par l'oxygène absorbé dans la respiration qui fournit et la chaleur et le travail mécanique.

La recherche de la cause de la chaleur animale a, jusqu'à ces derniers temps, occupé exclusivement les savants[2]. Dès 1674, un chimiste dont les lecteurs de l'*Annuaire* ont déjà entendu parler[3], Jean Mayow, considérait la respiration comme déterminant dans le sang une fermentation et produisant par là la chaleur nécessaire aux animaux ; ces idées furent malheureusement abandonnées jusqu'à Lavoisier, qui démontra que les réactions accomplies dans l'organisme sont suffisantes pour fournir aux animaux la chaleur qu'ils manifestent. De nombreux travaux élucidèrent presque tous les détails de la théorie, qui n'est plus contestée aujourd'hui. Parmi ces travaux, nous citerons seulement ceux de MM. Regnault et Reiset et les recherches remarquables de M. Boussingault. Si, comme on est porté à le supposer, la production de travail mécanique est due à la même cause qui produit la chaleur de l'animal, on arrive aux conséquences suivantes : la quantité d'oxygène absorbée dans un temps donné, ou

[1] *Les sciences et la philosophie.* 1 vol. in-18. Didier et Cie.

[2] *Annuaire scientifique* de 1864 : *La chaleur animale*, par P.-P. Dehérain, et dans celui de 1865 : *Chaleur solaire et forces terrestres*, du même auteur.

[3] *Annuaire scientifique de* 1862. — Deux chimistes oubliés par P.-P. Dehérain.

plutôt la quantité des matières combustibles brûlées dans l'organisme restant la même, la température doit être moindre si l'animal produit du travail mécanique que s'il reste au repos; ou, si sa température ne varie pas dans ces deux conditions différentes, c'est que les combustions ont été plus considérables et ont mis en jeu une plus grande somme d'affinités chimiques dans le cas du mouvement. Des expérimentateurs, au premier rang desquels on doit placer M. Hirn, puis M. Béclard, ont mis en évidence l'exactitude de ces conclusions et ont conduit à des résultats pratiques fort importants tant au point de vue de la physiologie qu'à celui de l'hygiène, et dont nous regrettons de ne pouvoir entretenir nos lecteurs.

On sait l'influence incontestable de l'action nerveuse dans la production des phénomènes de la vie; il était intéressant de connaître les conditions dans lesquelles cette activité se manifeste; pour nous en tenir aux phénomènes physiques, sans rien préjuger des actions nerveuses qui correspondent à des sensations perçues ou à un travail intellectuel, nous pouvons affirmer, d'après les travaux de Flourens, de Legallois, de MM. Brown-Séquard, Vulpian et de beaucoup d'autres, que, « précédée par une action physico-chimique accomplie dans la trame des centres nerveux, » l'activité nerveuse « aboutit à une modification de conditions physico-chimiques, et, par suite, à un travail purement physico-chimique. » (Gavarret.)

Cette communauté d'origine, cette identité de la cause première, l'affinité chimique, ne conduisent cependant pas à conclure que les actions calorifiques, musculaires, nerveuses sont identiques, pas plus qu'en particulier et malgré les relations intimes entre l'électricité et l'activité nerveuse, on ne peut les considérer comme un seul et même agent. Les propriétés spéciales de chacun des éléments qui présentent ainsi une activité propre dépendent de leur composition, de leur structure, qui leur permet de *transformer par voie d'équivalence* les actions reçues en leur donnant un caractère particulier de modalité. Est-il plus étonnant de voir les combustions produites dans le sang donner naissance, suivant la nature de l'élément, tantôt à de la chaleur, tantôt à du travail mécanique, tantôt à l'activité nerveuse, que d'observer l'affinité chimique mise en jeu dans le monde inorganique, produire de l'électricité, de la chaleur, de la lumière,

du travail mécanique, etc., suivant la machine dont on fait usage.

Nous ne pouvons pas plus ramener à une seule les activités diverses que nous présentent les êtres vivants, qu'il ne nous est possible de les identifier avec les agents physiques proprement dits : c'est, du reste, cette impossibilité qui confirme l'autonomie de la physiologie ; si les modalités nerveuses et autres se ramenaient entièrement à la chaleur, à l'électricité ou à des changements chimiques, leur étude constituerait quelques chapitres de la physique et de la chimie, et la physiologie aurait cessé d'exister comme science.

L'étude des phénomènes physiques que présentent les êtres vivants conduit donc le savant professeur de l'École de médecine à affirmer qu'ils ont leur cause suffisante dans des réactions chimiques qui prennent naissance dans l'organisme, et rien ne le porte à supposer nécessairement l'existence d'un principe quelconque différent de ces forces. D'ailleurs, ce principe, auquel, suivant les époques, on a donné divers noms, n'a aucune influence sur la vie organique étudiée dans ses manifestations physiques. La discussion de faits, d'expériences, d'idées, conduit M. Gavarret à montrer que les manifestations vitales d'autre nature, telles que le développement des germes, ne supposent pas davantage l'existence d'une force spéciale surajoutée, tandis que, par exemple, la réviviscence des rotifères et même d'animaux supérieurs, l'existence de *monstres* naturels ou obtenus à volonté par les physiologistes témoignent contre la réalité d'une force vitale. La production d'êtres vivants créés de toutes pièces serait une démonstration irréfutable ; mais la non-réussite des expériences tentées jusqu'à nous dans ce sens ne prouve rien contre la thèse soutenue par M. Gavarret.

En envisageant la question dans son ensemble, il est difficile de ne pas aller plus loin et de ne pas se demander si les manifestations psychiques supposent ou non l'existence d'un principe particulier autre que la matière organisée et active qui suffit à l'explication des manifestations physiques et mécaniques : on sait maintenant que ces manifestations, même la pensée non exprimée, correspondent à des modifications matérielles concomitantes ; mais ce n'est point une condition suffisante pour conclure qu'il y a une relation de cause à effet, et, comme le remarque M. Gavarret, on ne pourra arriver à aucune conclusion tant que l'on n'aura

pas trouvé entre la pensée, par exemple, et la chaleur une commune mesure qui permette d'affirmer qu'il y a équivalence entre l'effet psychique et ce que l'on serait conduit à considérer comme cause.

Disons, pour terminer, que l'ouvrage dont nous nous occupons commence par des notions assez étendues sur la circulation de la matière et sur la circulation de la force qui sont exposées avec beaucoup d'ordre et avec une grande clarté. Enfin des notes, des documents divers se rapportant à divers points indiqués dans le cours du livre, complètent certaines questions, soit au point de vue historique, soit par des détails sur les expériences et les résultats qui n'avaient été qu'énoncés.

Nous savons le succès des leçons professées à l'École de médecine et l'accueil favorable fait à leur publication par les étudiants, et nous sommes convaincu que cet ouvrage est destiné au même succès en dehors du public auquel il était d'abord et tout naturellement indiqué. Sans doute, cet ouvrage suscitera aussi de violentes critiques; il est impossible de toucher à des questions aussi délicates sans soulever de nombreuses objections, sans alarmer des convictions sincères, et cependant M. Gavarret évite le terrain des discussions ardentes ; il expose les idées auxquelles ses études l'ont conduit, et ceux mêmes que les conclusions de l'ouvrage effrayeront y trouveront ample matière à s'instruire.

C. M. G.

LES OISEAUX CHANTEURS

Imité de l'allemand; avec une préface de Champfleury. — Rothschild, édit.

Le texte original de ce livre, dont une réduction intelligente a soigneusement conservé toutes les parties essentielles, est l'œuvre de deux naturalistes allemands, deux frères, MM Adolphe et Charles Müller, l'un, pasteur protestant, l'autre, garde-forestier, qui ont consacré leurs loisirs aux études ornithologiques. Cette série de monographies des principaux artistes emplumés de nos climats, contient des observations d'une extrême finesse sur les habitudes de ces oiseaux, leurs procédés de nidification, les di-

verses allures de leur chant suivant les saisons, et sur certaine variantes de conformation du larynx, qui paraissent expliquer les intonations très-particulières de quelques-uns de ces chanteurs. Parmi les observations anatomiques de MM. Müller, la plus originale concerne le sansonnet. Ils expliquent d'une façon très-vraisemblable la faculté de ventriloquie dont jouit cet oiseau, par le développement marqué des muscles ligamenteux latéraux, se reliant à un appareil spécial de muscles tendineux très-saillants au larynx inférieur. C'est cet appareil, plus compliqué et fonctionnant avec plus d'énergie chez l'oiseau ventriloque, qui lui permettrait d'exécuter à lui seul une sorte de duo, en accompagnant les sons aigus ou flûtés d'une basse continue de ronflement et de clapotement. Suivant MM. Müller, le larynx des oiseaux qui jouissent, à des degrés divers, de la même faculté, comme le geai et le corbeau, offre les mêmes particularités de mécanisme.

Ces détails scientifiques, qui ont leur intérêt, ne tiennent qu'une place assez restreinte dans cette œuvre, plutôt sentimentale et artistique. Le nouveau classement des virtuoses de l'air d'après la caractéristique de leur chant, leur répartition en deux groupes, comprenant, l'un les chanteurs originaux, l'autre les éclectiques ou imitateurs, scandaliseront plus d'un savant. Il y a cependant une certaine originalité dans cette idée : elle devait nous venir tôt ou tard de la musicale Germanie. On pourra trouver aussi que MM. Müller sont trop prodigues d'effusions lyriques, à propos des moindres bipèdes, et que l'écrivain chargé d'approprier leur œuvre au goût français, n'a pas élagué assez de ces dithyrambes allemands. Mais il est juste de reconnaître que cet enthousiasme poétique a profité à l'observation. Jamais ces oiseaux, notamment le loriot, les diverses variétés de fauvettes, le roitelet, n'avaient été étudiés avec plus d'amour, guettés, relancés avec un soin aussi jaloux, jusque dans les détails les plus intimes de leur vie privée. L'intérêt de cette publication est encore relevé par l'élégance de l'exécution typographique, et par de jolies gravures, exécutées sur les dessins de MM. Müller, qui n'ont voulu s'en remettre à personne du soin de reproduire leurs types favoris.

E. B.

ANTHROPOLOGIE

SCIENCES PRÉHISTORIQUES

RÉSUMÉ DE LA QUESTION.

Congrès international d'anthropologie et d'archéologie préhistoriques ; sessions de Neufchâtel (1865), de Paris (1867), de Norwich (1868) et de Copenhague (1869). — *Bibliographie.*

A mesure que l'homme connaît mieux son état présent et le globe qu'il habite, le besoin de savoir, loin d'être assouvi, se montre de plus en plus ardent. La surface de la terre et des mers parcourue en tous sens, les montagnes mesurées, les océans sondés et mis au jour, les corps inorganiques et les corps organisés connus et décrits ; les plantes, les animaux, les races humaines étudiés sous tous leurs aspects ; les traditions historiques compulsées et revisées, les langues mortes restituées et leurs descendantes rattachées à leurs souches originelles, tout cela ne suffit plus. Sachant ce qu'il était, et supposant sous mille formes où il tendait, l'homme a voulu percer le mystère de ses origines ; il s'est demandé d'où il venait et comment il avait débuté dans la carrière si péniblement parcourue où le pousse une destinée dont il n'a jamais eu conscience.

Jusqu'à nos jours, toutefois, ce problème l'avait laissé assez indifférent ; il s'en rapportait volontiers aux cosmologies et aux légendes qui, transmises d'âge en âge, plus ou moins modifiées, tantôt le montraient formé de toutes pièces du limon de la terre, tantôt le faisaient descendre d'un dieu ou d'un ange. L'Inde, l'Égypte et la Grèce se sont surpassées dans une anthropogénésie fantastique auprès de laquelle l'Éden des Hébreux n'est qu'une pâle

imagination. Lucrèce, cependant, dans le cinquième livre du poëme *De Natura rerum*, a entrevu ce que nous savons être aujourd'hui la vérité, c'est-à-dire la misérable condition des premiers hommes, leurs luttes pénibles contre les éléments, et jusqu'aux premières armes de pierre qui sortirent de leurs mains et auxquelles succédèrent le bronze d'abord, le fer ensuite. Toutefois cette conception tout intuitive resta isolée dans le mouvement philosophique si limité qui fut imprimé à l'esprit humain par les fondateurs du christianisme. Çà et là on émettait bien l'hypothèse d'une période absolument inculte qui aurait précédé les premières tentatives civilisatrices; mais la grande majorité des hommes, et par-dessus tout la science classique, se contentaient des données bibliques qu'elles corroboraient à l'occasion, sous l'influence des Cuvier, des Buckland et des Bunsen, en mettant à leur service une science adaptée aux circonstances. En tous cas, l'hypothèse de la haute antiquité des races humaines était tout au moins délaissée; l'histoire de l'homme datait d'hier, la science des temps préhistoriques n'existait pas.

Il a fallu, de nos jours, un remarquable concours de connaissances pour établir que l'homme, loin d'être le dernier venu sur la terre, a vu s'accomplir une série immense de phénomènes qui ont changé la face de la planète, qu'il a survécu à d'innombrables races d'animaux aujourd'hui éteints, et qu'il existait depuis un nombre incalculable de siècles lorsque la faune et la flore ont apparu sous leurs formes actuelles. On voit donc que la géologie, la paléontologie, l'histoire naturelle des plantes, des animaux et des races humaines et l'histoire proprement dite doivent intervenir pour déterminer et classer les faits sur lesquels repose la science des temps préhistoriques.

Il faut cependant reconnaître que les périodes embrassées par ces faits ne sont pas encore bien limitées; du moment où un morceau de pierre devient un témoignage de l'existence des hommes, de leur degré de civilisation, ce morceau de pierre devient historique, et s'il n'a pas toute la signification d'un monument épigraphique, il offre cependant un sens analogue. Où donc finissent les temps préhistoriques, où commence l'histoire? Ici l'on pourrait convenir que l'histoire commence aux premiers documents transmis par le langage écrit. La linguistique serait donc exclue du champ déjà si vaste de la science préhistorique.

Il n'en est pas de même pour la géologie et pour la paléontogie. A la question : quand l'homme est-il apparu? nous ne pouvons répondre que par des expressions empruntées à l'une de ces sciences, ou, ce qui vaut mieux, à toutes deux, car la nomenclature géologique laisse singulièrement à désirer; encore cette réponse sera-t-elle toute provisoire, car si nous pouvons dès à présent faire remonter l'existence des êtres humains jusqu'à la période miocène, nul ne saurait affirmer que l'homme éocène n'existe pas. Mais les premiers documents positifs qui démontrent l'existence de l'homme à la période tertiaire, ne permettent pas de le faire remonter au delà du terrain tertiaire moyen, et leur découverte est due à M. l'abbé Bourgeois. Ces documents consistent dans des silex travaillés trouvés dans les dépôts tertiaires de la commune de Thenay (Loir-et-Cher).

A mesure que l'on s'avance vers les temps quaternaires, les preuves de l'existence de l'homme s'accroissent rapidement et l'on reste frappé du chemin prodigieux qu'a fait en peu d'années une science qui n'existait pas il y a vingt ans et qui, aujourd'hui, possède une littérature considérable, plusieurs revues, un congrès international annuel, des musées splendides dans toutes les capitales scientifiques, et une société qui, pour ne pas se limiter à l'étude de l'homme aux temps préhistoriques, n'en a pas moins fait la part la plus large à la question : la Société d'anthropologie.

C'est en Italie que l'idée de ce congrès international d'anthropologie et d'archéologie préhistorique prit naissance. Quelques naturalistes éminents suisses, italiens et français, parmi lesquels il faut citer Desor, Vogt, de Mortillet, réunis à la Spezzia, en 1865, décidèrent qu'une première réunion aurait lieu l'année suivante à Neufchâtel. Cette réunion, tout entière consacrée à des explorations, fit peu de bruit. Ses actes furent publiés dans l'excellent recueil que dirigeait alors M. de Mortillet et qui est aujourd'hui aux mains de MM. Cartaillac et Trutat. (*Matériaux pour l'histoire positive et philosophique de l'homme*, t. II, p 469.) C'est là que l'on pourra lire le remarquable discours d'ouverture de M. Desor, qui a eu pour sujet principal les curieuses constructions lacustres qui ont été décrites sous le nom de *palafittes* (*pfalbauten* constructions sur pilotis). Le lac de Neufchâtel, aux bords duquel se tenait le congrès, a le privilége de réunir des types bien déterminées des trois âges : Saint-Aubin et Concise, pour l'âge

de la pierre ; Cortaillod et Auvernier, pour l'âge du bronze, et le Tène près de Marin, pour l'âge de fer. Autour du lac on connaît plus de quarante stations préhistoriques. Les plus nombreuses ne remontent qu'à l'âge du bronze. Quelques-unes des stations ont plus d'un kilomètre de diamètre; les habitations lacustres sur pilotis n'étaient pas les seules qui fussent alors construites par les hommes. Il est évident que des gens qui cultivaient des céréales, des légumes, qui entretenaient des troupeaux, ne pouvaient se contenter d'habitations lacustres. D'ailleurs, M. le docteur Clément a découvert, parmi les monuments terrestres, des amas de pierres qui portent le nom de *morgiers*, amas sous lesquels il a retrouvé des faucilles et un bracelet, ce dernier de tout point semblable à ceux des palafittes de l'âge de bronze. Les populations des palafittes étaient donc déjà très-nombreuses; les éléments sont loin de faire défaut pour tracer leur histoire. On trouvera dans le livre tout récent de M. Figuier un dessin très-intéressant qui représente vraisemblablement la restitution d'un village lacustre à l'époque du bronze.

Après le discours de M. Desor, on entendit M. Vogt qui décrivit un crâne de l'âge de la pierre polie trouvé au milieu des débris lacustres du lac Moret. M. Vogt l'a rapportée, de même que le célèbre crâne de Meilen, de la même époque, au type fixé sous le nom de type de *Sion*, par MM. His et Rutimeyer (*Crania Helvetica*). Ce type est celui de la moyenne partie des habitants de la Suisse actuelle.

M. Édouard Dupont a présenté au congrès le résumé de ses fouilles, faites en Belgique. Nous aurons l'occasion d'y revenir plus loin.

Enfin, — car nous n'avons pas l'intention de donner une analyse complète d'un congrès qui remonte à 1866 — nous signalerons comme des modèles de ce genre d'études, les mémoires de de M. Quiquerez sur l'*industrie du fer antéhistorique dans le Jura bernois*, le mémoire de M. Clément *sur les objets lacustres de l'époque de la pierre*, et celui de M. de Mortillet sur *la Croix dans les temps préhistoriques*.

Après quatre jours de séances terminées par une pêche d'antiquités lacustres, le congrès décida qu'il se continuerait à Paris en 1867 pendant la durée de l'exposition internationale et nomma une commission qui eut pour mission d'organiser la future ses-

sion. Cette commission ayant nommé M. de Mortillet secrétaire général, celui-ci convoqua les anthropologistes et les archéologues, et, près de quatre cents savants répondirent à son appel. Le programme avait été rédigé dans les termes suivants :

I. Dans quelles conditions géologiques, au milieu de quelle faune ou de quelle flore a-t-on constaté dans les différentes contrées du globe les traces les plus anciennes de l'existence de l'homme?

Quels sont les changements qui ont pu s'opérer depuis lors dans la distribution des terres et des mers ?

II. L'habitation dans les cavernes a-t-elle été générale ? Est-elle le fait d'une seule et même race et se rapporte-t-elle à une seule et même époque?

Dans le cas contraire, comment peut-on la subdiviser, et quels sont les caractères essentiels de chaque subdivision ?

III. Les monuments mégalitiques sont-ils dus à une population qui aurait occupé successivement différents pays?

Dans ce cas quelle a été la marche de cette population? Quels ont été ses progrès successifs dans les arts et dans l'industrie ?

Enfin quels rapports ont pu exister entre cette population et les habitations lacustres dont l'industrie est analogue ?

IV. L'apparition du bronze dans l'Occident est-elle le produit de l'industrie indigène, le résultat d'une conquête violente ou le fait de nouvelles relations commerciales ?

V. Quels sont, dans les différents pays de l'Europe, les principaux caractères de la première époque du fer ?

Cette époque est-elle antérieure aux temps historiques?

VI. Quelles sont les notions acquises sur les caractères anatomiques de l'homme dans les temps préhistoriques, depuis les époques les plus reculées jusqu'à l'apparition du fer?

Peut-on constater la succession surtout dans l'Europe occidentale, de plusieurs races et caractériser ces races?

Il avait été décidé que, l'année suivante, la réunion du congrès aurait lieu à Norwich en même temps que le meeting de l'Asso-

ciation britannique pour l'avancement des sciences. Il ne rentrait pas dans l'intention du comité d'organisation de fixer les questions qui devaient être discutées; cependant le comité crut devoir publier la liste suivante des questions qui lui semblaient relever des attributions du congrès :

1° Les plus anciennes traces de l'existence de l'homme ;
2° Recherches sur les cavernes habitées par l'homme dans les temps les plus reculés ;
3° Caractères ostéologiques de l'homme primitif;
4° Caractères de la faune qui lui a été associée;
5° Monuments mégalithiques ;
6° Antiquités de pierre et de bronze, leurs caractères et leurs usages ;
7° Introduction de l'emploi du fer dans la Grande-Bretagne ;
8° Anciennes habitations ;
9° Retranchements et ustensiles de guerre;
10° Anciens modes de sépulture ;
11° Coutumes et instruments qui existaient autrefois comme illustrations des temps préhistoriques ;
12° Indication des progrès continus des arts et de la civilisation pendant les diverses périodes préhistoriques.

Enfin le congrès de Copenhague, qui s'est tenu cette année (1869), avait proposé les questions suivantes :

1° Les instruments de pierre que l'on a retirés du drift et des cavernes ;
2° Les débris de cuisine (kjœkkenmœdings) et les dépôts d'instruments en silex que l'on a découverts sur les côtes du Danemark;
3° La faune des Dolmens ;
4° Les coutumes funéraires de l'âge du bronze;
5° L'âge du bronze dans les pays de la Baltique et les autres pays de l'Europe;
6° L'âge du fer, son origine dans le nord de l'Europe.

En comparant ces programmes, on ne peut qu'être frappé de l'analogie qu'offrent ceux de Paris (1867) et de Norwich (1868). De plus, le caractère en quelque sorte local et éminemment pratique du congrès de Copenhague est tout à fait marqué. Une ques-

tion commune aux deux premières est celle qui est relative aux traces les plus anciennes de l'existence de l'homme; elle mérite que nous en parlions tout d'abord.

Traces les plus anciennes de l'existence de l'homme. Terrains tertiaires. — Cette question, que M. l'abbé Bourgeois et M. Issel ont traitée au congrès de Paris, n'a pas été abordée à Londres. La première fois qu'il a été question de l'existence de l'homme à l'époque tertiaire, ce fut à l'Académie des sciences, où M. Louis Desnoyers donna, en 1863, une note sur les indices matériels de la *coexistence de l'homme avec les grands mammifères*. Ces indices consistaient en empreintes et en stries de formes diverses que portaient des os de rhinoceros tichorrhinus et d'elephas meridionalis, et où on reconnaissait la main de l'homme. Ce fait fut contesté pendant plusieurs années jusqu'à l'époque où M. Bourgeois put présenter à l'Académie des silex taillés trouvés dans le même dépôt tertiaire de Saint-Prest.

M. Cocchi, dans le val d'Arno, a retrouvé sur des os de la même période géologique les mêmes stries associées à des ossements humains. M. Issel a présenté au congrès des débris de plusieurs fossiles humains qu'il a découverts dans un gisement tertiaire (pliocène moyen) qui existe dans l'enceinte même de Savone, près de Gênes. Aucun des documents qui établissent l'authenticité d'une découverte n'a manqué à la communication de M. Issel, qui a été suivie de plusieurs notes du même auteur sur les grottes du littoral ligurien Verezzi, Menton, Finale et Toirano. Lorsque la découverte de Savone fut faite à Colle di Vento, le squelette était entier, mais la plus grande partie s'est trouvée perdue, en sorte qu'on ne possède actuellement qu'un fragment de pariétal droit, un fragment du maxillaire gauche avec une fausse molaire très-usée, une partie du maxillaire inférieur droit, un fragment d'humérus gauche, une clavicule, une tête de fémur, le tiers inférieur du péroné gauche et deux phalanges. L'étude de ces fragments osseux a donné lieu à quelques observations intéressantes, mais qui, isolées, perdent une partie de leur intérêt.

Nous avons dit plus haut que M. l'abbé Bourgeois avait corroboré la découverte de M. Desnoyers en trouvant, dans un terrain miocène, le calcaire de Beauce lacustre à l'état de marne, dans

lequel existait trois ossements d'un rhinocéros à quatre doigts (*acerotherium*), des silex taillés dont le caractère a été parfaitement reconnu par des hommes profondément versés dans ce genre d'étude, MM. Worsaae et de Mortillet, par exemple. D'ailleurs, des découvertes analogues faites par MM. de Vibraye et Delaunay ne laissent plus guère de doute sur l'existence de l'homme miocène. Mais de cet homme nous ne savons rien, si ce n'est qu'il se servait d'outils en silex, qu'il pratiquait des entailles sur les os des animaux et qu'il connaissait l'usage du feu. Ajoutons ici que, depuis, M. Whitney, géologue éminent, a trouvé en Californie des preuves innombrables de l'existence de l'homme dans des roches tertiaires antérieures au mastodonte et à l'éléphant.

Terrains quaternaires.— Les temps quaternaires sont marqués par la succession des glaciers et des déluges. La faune tertiaire, qui s'était déjà renouvelée durant la période pliocène, disparaît définitivement. Des éléphants couverts de laine (mammouth), munis de crinières, des rhinocéros pareillement revêtus, des hippopotames, des ours gigantesques succèdent à ces mammifères étranges : le *megaterium*, le *glyptodon*, le *felis smilodon*, etc. La configuration du sol change à plusieurs reprises ; la région septentrionale de l'Europe, envahie par la mer, se relève à la surface des eaux et les principales chaînes de montagnes se recouvrent d'énormes glaciers qui s'étendent sur le pays de Galles, la Scandinavie, la Suisse et descendent au sud jusque sur les Alpes. Sous l'influence d'une nouvelle élévation de température, la fonte des glaciers amène le creusement des vallées, la formation des dépôts de cailloux roulés connus sous le nom de *diluvium*, le déblayement des cavernes, qui bientôt vont constituer pour l'homme l'abri où nous retrouvons aujourd'hui ses ossements et les traces de son industrie associés aux ossements des animaux contemporains.

C'est dans ces couches de diluvium que Boucher de Perthes avait découvert, en 1844, ces silex travaillés dont il occupa, avec tant d'opiniâtreté, mais presque sans succès, le monde savant, et dont l'authenticité et la vraie signification ne devaient être reconnues que vingt ans plus tard. Quant aux cavernes, c'est à M. Ed. Lartet que l'on doit les principaux documents que l'on a possédés sur leur faune et sur les hommes qui les ont habitées.

Mais il faut dire ici que c'est à Boué et à Schmerling qu'il faut faire remonter les premières découvertes de ce genre, et les noms de MM. Dawkins, Garrigou, Dupont, Issel, Desnoyers, de Mortillet ne doivent pas être omis parmi ceux des hommes qui ont le plus contribué à éclairer l'histoire des troglodytes humains.

L'anthropologie quaternaire, principalement représentée par les cavernes, peut se caractériser par la faune ou par les produits de l'industrie humaine associés aux os d'hommes ou d'animaux. M. Ed. Lartet, en suivant la première méthode, a créé quatre âges paléozoologiques selon la prédominance des animaux contemporains de l'homme. Ce sont par ordre d'ancienneté les âges du mammouth (*eleph. primigenius*), de l'ours des cavernes, du renne et de l'Aurochs. M. Garrigou a cru devoir réduire à deux âges. l'âge du grand ours et celui du renne, les divisions proposées par M. Ed. Lartet.

Classification industrielle. — Tout récemment, enfin, M. de Mortillet a tenté de s'appuyer sur les produits de l'industrie; ce qui le frappe tout d'abord, c'est la grande prépondérance des instruments en silex dans les stations possédant la faune la plus ancienne, et au contraire l'abondance des instruments en os dans les stations les plus récentes. De là, ajoute-t-il, deux grandes divisions qui se subdivisent en quatre époques qui peuvent prendre le nom de la localité la plus connue, la plus typique. Ce sont : 1° l'époque du *Moustier*, caractérisée par la hache taillée en amande ou *langue de chat* et par des pointes en silex à face lisse d'un côté et finement retaillée de l'autre. La grotte du Moustier est située dans la Dordogne et l'on peut y rapporter les gisements des alluvions quaternaires de la Somme et de la Seine. Les instruments en os y font complétement défaut; 2° l'époque de *Solutré* (Saône-et-Loire). Les haches en amande ont disparu. Par contre, les pointes de silex se sont perfectionnées, elles sont finement retaillées sur les deux faces et aux deux extrémités. L'arme est un casse-tête anguleux qui se retrouve à l'époque suivante. Les simples lames sont rares, ainsi que les instruments en os. On peut rapporter à cette époque les gisements de Laugerie haute (Dordogne) et de Pont-à-Lesse (Belgique); 3° l'époque d'*Aurignac* (Haute-Garonne). Le nombre des instruments en os s'accroît considérablement. Au casse-tête anguleux s'ajoutent des

pointes de traits ou de lance en os ou en bois de renne. Les cavernes, connues sous les noms de *gorge d'enfer* et de *Cro-Magnon* (Dordogne) se rattachent à ce type ; 4° enfin l'époque de la *Madeleine* (Dordogne) est caractérisée par ses pointes de traits ou de lance en os et en bois de renne, dont l'extrémité inférieure, en pointe ou en biseau, entre dans le bois de la hampe. Ici apparaissent de nombreux produits artistiques, des gravures et des sculptures d'animaux. Les animaux aujourd'hui éteints disparaissent et les espèces aujourd'hui émigrées dans les régions froides y sont grandement développées. C'est à cette époque qu'appartiennent les célèbres gisements des Eyzies, de Laugerie basse (Dordogne), de Bruniquel (Tarn-et-Garonne), de Furfooz (Belgique), etc.

Ce n'est pas ici le lieu de discuter cette classification ; il se pourrait que l'ordre du développement industriel ne fût pas rigoureusement chronologique, mais il y a un tel avantage à ne faire jouer à la faune qu'un rôle secondaire dans le classement, que nous faisons des vœux pour l'adoption des distributions proposées par M. de Mortillet.

Jusqu'à présent, nous sommes restés dans l'âge de la pierre taillée par *éclats*, que l'on a pu étudier en France sur plus de cent cavernes qui, du mammouth à l'aurochs, contiennent toute la série de la faune quaternaire. Le renne, surtout (*cervus tarandus*), fournit, dans les cavernes, une quantité considérable d'ossements.

Age de la pierre polie. — Mais le renne disparut à son tour, et les animaux domestiques qui nous sont restés, le chien, le cheval, le mouton, la chèvre, le bœuf et le cochon, font leur apparition. Sans nul doute, quelques-uns de ces animaux provenaient de l'Asie centrale. En même temps l'industrie fait un progrès considérable ; les armes, au lieu d'être simplement taillées, sont polies ou taillées avec un art remarquable. L'habitation, dans les cavernes, cesse d'être presque générale ; on remarque un grand nombre de grottes sépulcrales ; il existe de grands ateliers pour la fabrication des armes et des outils (Grand-Pressigny, Indre-et-Loire), d'où l'on peut conclure à l'existence d'une certaine organisation sociale.

L'étude de cette période doit beaucoup aux travaux de MM. Gar-

rigou et Filhol fils[1] et aux belles études paléo-ethnologiques de M. Chantre[2], qui, l'un au midi de la France, l'autre à l'Est, ont fouillé une cinquantaine de cavernes. En Belgique, on doit à MM. Hausens et E. Dupont des recherches considérables sur plus de dix stations de l'âge de la pierre polie, qui paraît avoir été de moindre durée que l'âge de la pierre taillée.

Nous arrivons ensuite par les *kjœkkenmœddings* et les *cités lacustres* à l'âge du bronze et à l'âge du fer, qui nous fait rentrer dans les temps historiques. Disons quelques mots de ces diverses périodes.

Kjœkkenmœddings. — Sur plusieurs points du littoral, mais surtout du littoral danois, on rencontre des accumulations de coquilles, de mollusques et de crustacés qui ont été longtemps considérés comme de simples amas naturels tels que l'on en trouve sur tous les rivages. Steenstrup remarqua que ces coquilles appartenaient toutes à des individus adultes et à des espèces qui ne vivent point en commun ni dans les mêmes eaux. En outre, il découvrit des ossements de vertébrés, des instruments grossiers en silex taillé, des poteries, des foyers, du charbon, etc. La hauteur de ces amas varie de 1 à 3 mètres, leur largeur de 30 à 60 mètres. La faune terrestre, qui renferme ces amas mêlés aux coquillages, est moderne ; on n'y rencontre aucun animal domestique, sauf le chien : aucune trace de métal. Ces amas de débris sont ce que l'on a appelé les *kjœkkenmœddings* (restes de cuisine) et constituent les premières traces de l'apparition de l'homme au Danemark, ainsi que dans les pays scandinaves qui ne paraissent pas avoir eu d'habitants aux époques du mammouth et du renne.

Mais les kjœkkenmœddings ne sont pas exclusivement propres au Danemark. M. Lyell en a trouvé en Amérique, sur les côtes de la Géorgie et du Massachusetts, M. Strobel au Brésil, M. Dampier en Australie, M. Darwin à la Terre-de-Feu, MM. Sauvage et Hamy dans le Pas-de-Calais, M. Pereira da Costa en Portugal. Ils paraissent représenter l'une des phases par lesquelles ont passé, au

[1] *Age de la pierre polie dans les carrières des Pyrénées arriégeoises* (sans date). — Paris et Toulouse.

[2] *Études paléontologues ou recherches géologico-archéologiques.* — Paris et Lyon. 1867.

point de vue de l'alimentation, les populations des rivages maritimes.

Cités lacustres. — L'époque des cranoges irlandais et des villages lacustres bâtis sur pilotis palafittes semble faire suite chronologiquement aux kjœkkenmœddings et nous conduisent successivement aux âges du bronze et du fer. Ce n'est qu'avec une extrême lenteur que le bronze a remplacé la pierre; longtemps on le trouve mêlé aux outils et aux armes en silex, et, quant au fer, son usage habituel dans le nord de l'Europe est postérieur à l'ère chrétienne. Mais il n'est pas douteux qu'à titre de métal précieux le fer ne fût connu pendant la période du bronze.

Résumé chronologique. — En résumé, la chronologie des temps préhistoriques commence aux terrains tertiaires moyens; une suite interrompue de documents nous montre les variations des races humaines, de l'industrie, des milieux, de la flore et de la faune, et nous permet de classer les âges préhistoriques en onze grandes périodes : savoir la période miocène, la période pliocène, la période des premiers temps quaternaires, la période des cavernes anciennes ou du mammouth, celle du renne, celle de la pierre polie, celle des kjœkkenmeddings, celle des cités lacustres, celle des dolmens, et enfin celle du bronze et du fer. Il s'en faut, toutefois, que cette chronologie soit rigoureuse, et il est probable que les mangeurs de mollusques danois sont aussi anciens, sinon plus, que les habitants des cavernes de l'Ariége; mais les cités lacustres de la Suisse révèlent une telle supériorité de civilisation (vu l'ignorance des métaux), qu'il est difficile de ne pas la croire de beaucoup postérieure à la précédente. D'ailleurs, il importe d'avoir dès à présent un cadre régulier et des points de repère qui, après avoir servi à classer les faits, permettront d'en déduire des données positives.

Ce coup d'œil d'ensemble jeté sur les temps préhistoriques, nous pouvons entrer dans quelques détails en choisissant parmi les sujets traités dans les trois sessions du congrès ceux qui nous paraîtront offrir le plus d'intérêt.

Congrès de Paris (1867). — M. Édouard Dupont, savant géologue chargé par le gouvernement belge des fouilles à pratiquer

dans la province de Namur, a cherché, dans sa communication au congrès, à mieux préciser la série stratigraphique quaternaire de la Belgique et la faune contemporaine de chaque couche. Pendant le creusement fluviatile des vallées, *faune du mammouth* composée de près de cinquante espèces de mammifères de grande taille. Les seuls ossements humains que nous possédions de cette époque consistent en une mâchoire et un cubitus qui ont été trouvés dans la caverne dite *Trou de la Naulette*. Cette mâchoire offre des caractères anatomiques tout à fait singuliers qui ont fait hésiter plusieurs crâniologistes avant de la classer dans le genre *homo*. Vers la fin du creusement des vallées, nous voyons apparaître les objets gravés et sculptés rappelant ceux du Périgord. Après le creusement total des vallées, la *faune du renne* se développa et l'art si remarquable de la fin de la faune du mammouth disparut. Plusieurs demeures souterraines des hommes de l'âge du renne ayant été explorées, et une sépulture ayant été découverte dans le *Trou de Frontal*, à Furfooz, on peut en tirer de très-intéressantes conclusions relativement à leurs mœurs. Pour ce qui est des caractères ostéographiques des crânes de cette caverne, nous renverrons à l'*Étude sur l'ethnographie de l'homme de l'âge du renne dans les cavernes de la vallée de la Lesse* publiée en 1867; monographie très-complète où aucun détail n'a été omis. Nous nous bornerons à citer les faits suivants qui nous font pénétrer dans les mœurs de cette époque éminemment troglodyte. Les cavernes étaient choisies avec soin. Le silex fournissait les instruments tranchants ; quelquefois les outils étaient perfectionnés et pouvaient servir à l'épilation des peaux, à la perforation, etc. Les ossements, et surtout les bois de renne, étaient travaillés; on en fit des dards et des lissoirs. Mais, dans ce travail, à l'opposé de l'époque précédente, on ne visait ni à l'art ni à l'élégance, sans doute parce qu'on n'avait plus les loisirs que l'abondance du gibier et du poisson, pendant l'époque précédente, laissait aux habitants du Périgord. (Lartet et Christy.) Les aiguilles témoignent de beaucoup d'adresse; le goût pour les ornements en coquillages paraît prononcé.

Presque tous les animaux du pays servaient à la nourriture; mais c'est la chair de cheval qui paraît avoir prédominé. La saleté la plus repoussante régnait dans les demeures; les débris de repas y restaient accumulés en putréfaction. Une grande et pré-

coce mortalité frappait par suite nos sauvages aïeux, qui faisaient cependant un usage constant du feu. Enfin la présence du silex crétacé et des coquilles éocènes démontrent certaines relations avec la Champagne, tandis que d'autres silex ne peuvent provenir que de la Touraine.

Nous ne reviendrons pas sur les communications de MM. Bourgeois et Issel dont nous avons parlé plus haut, et nous ne ferons que signaler la constatation de l'âge de pierre quaternaire dans la Louisiane, par MM. Owen et Clen, tandis que M. William Bleke le signalait en Californie, où, depuis, M. Whitney a trouvé, dans des terrains tertiaires, des preuves manifestes de l'industrie humaine.

M. de Rossi a communiqué au congrès ses études sur l'homme quaternaire dans la campagne romaine. Le fait le plus curieux qu'elles signalent est celui de la découverte, sur le même lieu, d'une série ininterrompue de documents s'étendant de l'époque impériale aux temps quaternaires les plus reculés.

La question de l'anthropophagie, dans les temps préhistoriques, a été mise ensuite à l'ordre du jour et résolue affirmativement en présence des preuves incontestables que MM. Garrigou, Spring, Roujou, Vogt, Desor, Clément et Broca en ont données. Mais l'anthropophagie n'a été ni générale ni habituelle ; elle paraît avoir régné surtout à l'âge de la pierre polie dans les cavernes du midi de la France et de la Belgique.

M. Pereira da Costa, savant géologue portugais, a donné connaissance d'une note sur l'état des sciences préhistoriques en Portugal ; tous les faits principaux découverts en Europe s'y sont retrouvés : existence de l'homme à l'époque quaternaire inférieure, habitation dans les cavernes, introduction successive du bronze et du fer.

La question des monuments mégalithiques connus sous le nom de *dolmens* (allées couvertes) a occupé ensuite le congrès et a donné lieu aux plus intéressantes discussions. Pour M. Alexandre Bertrand, ces monuments sont des tombeaux ; ils appartiennent en grande majorité à l'âge de la pierre polie, puisque dans les plus grands et les plus beaux de ces monuments on n'a point trouvé de traces de bronze, si ce n'est dans le sud-ouest de la France et en Afrique, où ils coexistent fréquemment même avec le fer. M. Bertrand a mis sous les yeux du congrès la carte qui

montre leur répartition géographique, et il constate que leur maximum de puissance est en Danemark et dans l'Armorique.

M. Lalande a ajouté à la communication de M. Bertrand une très-belle étude sur les monuments mégalithiques de la Corrèze et du Cantal; M. Pereira da Costa sur ceux du Portugal; M. Cartailhac sur ceux de l'Aveyron; puis la discussion générale s'est engagée entre MM. Worsaae, H. Martin, Lagneau, Dureau, Desnoyers, Lartet, de Longpérier, Leguay, Desor et A. Bertrand. Les doutes émis sur la haute antiquité des dolmens par MM. H. Martin et Desor ne paraissent pas devoir ébranler l'opinion que les dolmens appartiennent à l'âge de la pierre polie, mais tout fait supposer qu'il y a au moins deux grandes époques et que la plus récente, moins puissante que la première, s'est prolongée jusqu'à l'âge du bronze en quelques pays, mais a rapidement disparu dès l'apparition de ce métal.

La discussion générale sur la question a mis en relief quelques doctrines historiques très-importantes. Le célèbre historien, M. H. Martin a contesté que les dolmens fussent l'œuvre des peuples antéhistoriques. Parmi les peuples historiques qui ont élevé les dolmens, il faut citer les Hébreux et les Celtes. Les monuments mégalithiques de la Bretagne et les dolmens de l'Irlande sont dus aux Celtes; M. Ferguson a déchiffré une des inscriptions dont sont recouverts quelques-uns de ces monuments; cette inscription est en caractères ogham et en langue celtique. Il y a donc pour M. H. Martin une succession interrompue depuis les grands tumulus d'Irlande et ceux de Bretagne jusqu'aux *pierres levées* des premiers chrétiens et aux *tours rondes* du moyen âge.

Ainsi, pour M. H. Martin, l'ère celtique commence à la période des dolmens et s'étend jusqu'aux premiers temps du christianisme. Les opinions de M. H. Martin ont été partagées à divers degrés par MM. Lagneau et Desor; mais celles qu'a développées M. A. Bertrand, et qui reportent les véritables monuments mégalithiques (dolmens et allées couvertes) bien au delà de l'ère celtique, ont obtenu l'assentiment de MM. Legay, de Mortillet. Nous devons dire ici que la grande masse des faits recueillis et la presque unanimité des opinions plaide en sa faveur, et qu'il vaut mieux avouer l'ignorance où nous sommes de la race qui a construit les dolmens que de les attribuer à des peuples presque historiques

dont la langue est encore vivante, qui ne nous auraient transmis, sur ces monuments, aucune tradition et qui semblaient même en ignorer l'existence.

Ce que M. Ph. Lalande a fait pour la Corrèze et le Cantal, M. Cartailhac l'a fait pour l'Aveyron ; il faut signaler ici ce fait que le bronze constitue la matière de plus du cinquième des objets trouvés dans les dolmens de cette région ; il est néanmoins en si petite quantité et destiné à de tels usages, que l'on ne peut douter, d'après M. Cartailhac, que la multitude n'eût reçu à ce moment le bronze d'un peuple qui envoyait des lingots et ses propres produits, et qui, lui-même, s'avançait, ou, au contraire, dont se rapprochaient les hommes des dolmens.

La question de l'âge du bronze dans l'Occident a été traitée avec la plus haute compétence par MM. Nilsson, Desor, de Mortillet. La seule notion à peu près certaine que nous en connaissions, c'est que le bronze a été introduit en Occident longtemps avant d'y avoir été produit ; mais il n'est pas encore possible de dire, avec grande chance d'approcher de la vérité, quel était le peuple introducteur des métaux. Nous reviendrons un peu plus loin, à propos du congrès de Copenhague, sur la période des métaux.

Pour mentionner tous les faits importants qu'ont offerts les archéologues à l'examen du congrès, il faudrait un espace plus étendu que celui dont je puis disposer ici ; je ne puis cependant omettre l'étude très-complète de M. Boyd Dawkins sur les mammifères préhistoriques associés à l'homme dans la Grande-Bretagne, la note importante sur *la race des tumulus du gouvernement de Moscou*, de M. Bogdanow, et l'aperçu sur les temps préhistoriques en Hongrie de M. Fl. Romer.

La dernière question mise à l'ordre du jour : quels sont les caractères anatomiques de l'homme dans les temps préhistoriques ? a donné lieu à de remarquables travaux dus à la science consommée de MM. Pruner-Bey, Broca, Lartet, Vogt, de Quatrefages, Schaafhausen et de l'illustre Virchow.

Les études de M. Pruner-Bey ont eu pour sujet les ossements quaternaires provenant des fouilles de M. Dupont, en Belgique ; de MM. Brun et de Ferry, Filhol, Garrigou, etc., pour les cavernes de Lombrives et de Bruniquel. Ses conclusions sont qu'il existe encore de nos jours, en France, les descendants de deux races préhistoriques, l'une au crâne brachycéphale peu volumineux, à

la face en losange et aplatie, aux traits émoussés, à la mâchoire prognathe; M. Pruner l'appelle *mongoloïde;* l'autre, au crâne volumineux, dolichocéphale, à la forme du visage ovale ou elliptique en tous sens et aux mâchoires orthognathes. M. Pruner-Bey l'appelle *Aryenne*, parce qu'il suppose qu'elle représente celle des envahisseurs asiatiques qui nous ont apporté leur civilisation et leur langue des hauts plateaux de l'Asie centrale.

De ces deux types, le mongoloïde est le plus ancien; il caractérise les hommes contemporains des formations quaternaires; le type aryen ne remonte, en France du moins, qu'à l'âge de la pierre polie.

A la suite du discours de M. Pruner-Bey, M. Vogt n'a pas eu de peine à faire admettre que, même dans les temps quaternaires, deux types d'hommes au moins, très-distincts, habitaient l'Europe et que le contraste entre les *Celtes* et les *Mongoloïdes* de M. Pruner pouvait tout aussi bien s'établir entre deux races géologiquement contemporaines. M. Broca, dans une séance subséquente, a repris la question *ab imo.* Dans un mémoire qui peut être considéré comme un modèle d'érudition et de dialectique, il a fait l'histoire de l'archéologie préhistorique dans ses rapports avec l'anatomie comparée. Évoquant les faits qui avaient conduit Retzius à établir la théorie que M. Pruner-Bey défend aujourd'hui, il a rappelé que le point de départ de cette théorie était une assimilation dangereuse des faits de linguistique aux faits d'anthropologie générale. De ce que les Finnois brachycéphales parlaient une langue qui pouvait les faire considérer comme autochthones, par opposition aux Suédois dolichocéphales, dont la langue était indo-germanique, le célèbre Suédois en avait conclu que les autochthones étaient brachycéphales; il crut trouver dans les Basques, qui parlent une langue étrangère à la souche aryenne, une preuve de plus à cette doctrine, et M. de Baer vint bientôt lui donner l'appui de sa grande autorité en découvrant, dans les Alpes rhétiques, une population brachycéphale qu'il n'hésita pas à considérer comme issue en ligne droite des brachycéphales autochthones. Mais des études ultérieures ont prouvé : 1° que les Basques n'étaient point brachycéphales; 2° que les brachycéphales des Alpes rhétiques, loin d'être autochthones, sont les descendants des *Alemani*, derniers envahisseurs du pays. (His et Rutimeyer.)

Ces arguments n'ont point suffi à M. Broca ; il a recherché avec patience tous les documents qui concernent les ossements humains quaternaires, et notamment ceux qu'ont mis au jour MM. Robert, Busk, Ponzi, Barnard-Davis et Thurnam, van Duben, Dupont, de Ferry, Brun, Vogt, Schmerling, Shaaffhausen, Boué et autres, et il en a conclu sans conteste que les deux types principaux du crâne humain existaient en Europe bien avant l'âge de la pierre polie, et que, très-vraisemblablement, c'est le type dolichocéphale qui est le plus ancien.

Ayant ainsi traité la question des caractères anatomiques des hommes préhistoriques, par rapport aux contemporains, M. Broca s'est demandé « ce qu'est l'homme quaternaire par rapport à ses prédécesseurs inconnus ; les caractères morphologiques qu'il présentait étaient-ils en voie d'évolution progressive ? Conservaient-ils l'empreinte et comme la réminiscence de quelque phase antérieure ? ou constituaient-ils enfin, à un degré quelconque, une transition entre les caractères des singes anthropomorphes et ceux que nous sommes habitués à considérer comme propres à l'homme ? » Nous regrettons de ne pouvoir suivre M. Broca dans les développements qu'il a donnés à ces questions. Disons seulement que, soit à l'égard de la perforation de la cavité olécrânienne, soit à l'égard de la saillie des arcs sourciliers, soit à l'égard de la configuration des mâchoires, soit à l'égard du volume et de l'ordre des dents, les ossements quaternaires se rapprochent quelque peu des caractères anatomiques des singes anthropoïdes ; en sorte qu'aux yeux de M. Broca[1] « la disposition sériaire et le développement graduel des caractères organiques depuis longtemps constatés dans le reste de l'échelle animale s'observaient aussi dans les échelons supérieurs ; la chaîne des êtres, partout ailleurs plus ou moins continue, n'est pas brusquement rompue à ce niveau. »

Ces conclusions ne doivent pas conduire à ranger M. Broca parmi ceux qui pensent qu'une espèce peut se transformer en une autre espèce. M. Broca repousse, jusqu'à plus ample informé, l'hypothèse du transformisme si parfaitement associée de nos jours à l'hypothèse du monogénisme. Mais le savant orateur déclare que, s'il lui était démontré que les agents modificateurs ont pu, en un laps quelconque, faire sortir d'une commune origine

[1] *Congrès internat*, 1867., p. 401.

tous les types humains que nous connaissons aujourd'hui, il ne pourrait se refuser à admettre, du même coup, que ces mêmes agents ont pu, en un laps donné plus long, opérer la transformation plus complète que proclament les transformistes.

Signalons, sans analyse, une communication de l'illustre Virchow sur la transmission héréditaire des anomalies crâniennes que l'auteur considère comme théoriquement possible, quoiqu'on ne l'ait point constatée ; une dissertation de M. Shaaffhausen sur la forme primitive du crâne humain, pleine de faits ingénieusement interprétés, mais sans conclusion ; et enfin un discours de M. Vogt, qui, tout en constatant la rareté des éléments que nous possédons sur les formes primitives du crâne humain, exprime l'espoir que nous pourrons remonter quelque jour à la souche commune des hommes et des singes, c'est-à-dire des primates.

Ce congrès international, clos le 30 août 1867, a été l'événement le plus important dans l'histoire des sciences préhistoriques. L'année 1868 ne vit pas moins de trois congrès consacrés à l'archéologie ou à l'anthropologie préhistorique ; le plus important est la quatrième session du congrès international d'archéologie préhistorique qui se tint à Norwich (Angleterre) du 20 au 30 août ; le congrès d'archéologie et d'histoire se tint à Bonn du 14 au 21 septembre et un congrès archéologique à Carcassonne, Perpignan et Narbonne en novembre. En outre, le congrès scientifique de France, dont la session se tint à Montpellier en décembre, a consacré une partie de ses séances à la question de l'homme préhistorique.

Congrès de Norwich. — A Norwich, sir John Lubbock, président, a constaté, dans un discours d'ouverture, l'unanimité avec laquelle les quatre âges préhistoriques sont maintenant admis par les savants : l'âge palæolithique (pierre taillée), l'âge néolithique (pierre polie), et les deux âges des métaux, bronze et fer. Les premières séances ont été surtout consacrées aux monuments de pierres et spécialement à ceux de la Grande-Bretagne.

Le mémoire de M. Tylor sur la *Condition des races préhistoriques déduites de l'observation des tribus sauvages modernes* est extrêmement remarquable par l'accumulation des faits relatifs à ces tribus, dont l'étude très-longtemps négligée, a pris de nos jours une heureuse importance. M. John Stuart, dans une série de

vingt-sept propositions a donné les résultats de ses études sur les *pierres en lignes circulaires et longitudinales* de l'Écosse. Sa conclusion définitive est que les monuments mégalitiques ne sont point certainement l'œuvre des Celtes, et qu'ils ont eu pour destination première de servir de sépultures.

Dans la troisième séance, le fait le plus marquant a été la découverte faite par M. Dale et signalée par M. Busk d'instruments en forme de tête de flèche et de grattoirs, près du cap de Bonne-Espérance. L'âge de pierre, chez les Hottentots, paraît être un fait avéré. MM. Arcelin, Hamy et Lenormant ont depuis reconnu la même période sur différents points de la haute et de la basse Égypte. L'Afrique, qui jusqu'ici était considérée comme n'ayant pas eu d'âge de pierre, rentre donc dans la loi générale. Mais il reste probable, d'après le colonel Lane Fox, que l'âge de fer a immédiatement succédé à la pierre.

Dans la quatrième séance, M. Huxley a pris pour thèse d'un remarquable discours la distribution actuelle des races humaines et les inductions que l'on pouvait tirer relativement à l'ancienneté de l'homme. M. Huxley a divisé les hommes en quatre groupes primaires ou races : 1° la race *australoïde* au teint chocolat, aux yeux noirs, aux cheveux lisses ondulés et doux et au crâne allongé ; 2° la race *négroïde* à la peau presque noire, aux yeux noirs, aux cheveux ordinairement noirs, crépus et laineux et au crâne allongé ; 3° la race *mongoloïde*, au teint jaune et olivâtre, aux yeux noirs, aux cheveux noirs et plats et au crâne court ; 4° la race *xanthocroïde*, aux cheveux blonds, aux yeux bleus, à la taille haute et au crâne tantôt long comme chez les Scandinaves, tantôt court comme chez les Allemands. Selon M. Huxley, ces races, autrefois groupées isolément, sont aujourd'hui disséminées par lambeaux par suite des changements géologiques survenus dans la configuration de la surface du globe. C'est ainsi que les tribus montagneuses du Dekhan doivent se rattacher à la race australoïde ; cette contrée, séparée de l'Asie par une dépression alluviale, a dû être une île ; il ne faudrait qu'une dépression de cent pieds pour la détacher de l'Asie. Les Égyptiens autochthones sont également des parents aussi éloignés qu'on le voudra des austroloïdes. Quant aux négroïdes, auxquels l'auteur rattache les Boshmen, les nègres d'Afrique étaient cantonnés dans une île à l'époque où le Sahara était une mer. Les

répartitions actuelles des xanthocroïdes et des mongoloïdes peuvent s'expliquer par des migrations, mais non celles des deux autres grandes races, qui doivent à des changements géologiques leur habitat actuel.

MM. Vogt et Broca ont montré les vices d'une classification presque uniquement fondée sur des caractères superficiels de coloration et de chevelure ; M. Vogt s'élève en particulier contre la confusion des Lapons et des Esquimaux, et M. Broca contre presque tous les points de la classification proposée. Il établit, par des mensurations prises sur cinquante crânes de la quatrième dynastie, que, par la forme de la tête, les Égyptiens se rapprochent plutôt de la brachycéphalie des Mongols que de la dolichocéphalie des Australiens.

Cependant M. Broca admet comme M. Huxley l'inégale antiquité des types humains, et sans rien oser affirmer sur les époques successives de leur formation, il pense que les différents types se sont répartis inégalement et par couches superposées, comme par une sorte de stratification ; il admet que cette répartition a dû s'effectuer antérieurement aux révolutions qui ont donné à nos continents leur configuration actuelle, et il en conclut qu'un Océan peut séparer deux peuples sauvages, ignorants dans l'art de la navigation, sans qu'on puisse par cela seul nier leur communauté d'origine. Mais il croit que les groupes fondamentaux du genre humain sont bien plus nombreux que ne les a faits M. Huxley en se fondant exclusivement sur la couleur des poils et de la peau.

Dans sa réplique M. Huxley a avancé que les caractères crâniens n'étaient pas plus constants ni plus exclusifs que les autres. Les crânes d'un grand nombre d'Allemands du Sud et de Suisse, sont aussi larges que ceux des Tartares, tandis que ceux des Scandinaves sont aussi longs que ceux des Esquimaux ; néanmoins personne ne soutiendrait un moment que les Germains aux yeux bleus, grands et blonds, et les Scandinaves dont les dialectes diffèrent si peu appartiennent à deux races différentes. Pourquoi les Esquimaux et les Lapons n'appartiendraient-ils pas, eux aussi, à la même race ?

M. Hooker, au point de vue de la distribution des végé aux, s'est élevé contre la distribution ethnologique et géologique de M. Huxley, qui, en outre, a été vivement combattue par M. Busk.

Parmi les autres travaux du congrès, nous pourrions faire encore de nombreux emprunts ; mais nous croyons devoir nous borner à dire quelques mots du mémoire sur les *crânes et ossements humains découverts dans les cavernes de Windmill, à Gibraltar*, par M. G. Busk ; du mémoire sur les *crânes et autres ossements humains provenant d'une sépulture de l'âge du renne en Périgord*, par M. Louis Lartet, et du mémoire de MM. de Ferry et Arcelin sur l'*âge du renne dans le Mâconnais* (Solutré).

1° *Ossements provenant des cavernes de Gibraltar.* — De 1863 à 1866, des fouilles considérables ont été pratiquées dans les cavernes des environs de Gibraltar. On trouvera la description très-complète de ces fouilles et de ces cavernes dans les *Transactions of the international Congress of prehistoric archeology* qui viennent de paraître. Ces cavernes, qui datent certainement de l'époque de la pierre polie, ont fourni plusieurs crânes entiers, un plus grand nombre fragmentés et une série nombreuse de tibias et de fémurs. M. Busk a fait représenter des crânes et les objets ouvrés qui les accompagnaient dans des planches annexées à son mémoire. Il en a, en outre, confié l'étude à l'éminent secrétaire général de la Société d'anthropologie, M. Broca, qui en a fait l'objet d'un travail approfondi inséré dans le deuxième fascicule des *Bulletins* de cette Société (1869, p. 145). Les tibias ont offert à M. Broca une particularité caractéristique qu'il avait déjà reconnue aux ossements des Eyzies (Dordogne), lesquels datent de la même époque; cette particularité consiste en un aplatissement transversal que l'on retrouvera minutieusement décrits dans le même recueil (1868, p. 363). Au niveau du trou nourricier de cet os, une coupe horizontale, au lieu d'offrir à peu près la forme d'un triangle isocèle, offre un allongement considérable de la perpendiculaire abaissée sur la base et un aplatissement presque complet des deux angles latéraux. La base du triangle prend la forme d'un segment d'ellipse, et, en somme, le diamètre transversal de l'os est beaucoup plus petit, tandis que le diamètre antéro-postérieur s'allonge d'un bon tiers. Cette disposition, qui a pris en France le nom de tibia en *lame de sabre*, et en Angleterre le nom de *platycnémique*, est très-manifeste sur tous les tibias des cavernes de Gibraltar. Il semblerait même qu'elle soit caractéristique de plusieurs races préhistori-

ques de l'âge de la pierre polie. Elle existe sur les tibias provenant des dolmens de Chamant (Oise) et de Maintenon (Eure-et-Loir), de même que sur le tibia, que M. Eugène Bertrand, élève du collége Chaptal, a exhumé du diluvium de Montmartre, avec d'autres ossements. Or ce caractère, qui implique une musculature du mollet qui rappelle celle des singes anthropoïdes, démontre que les formes humaines ont pu, à quelques égards, subir des modifications.

Quant aux crânes de Gibraltar, ils ont offert des caractères très-intéressants, mais dont la signification n'est pas assez saisissante pour que nous les décrivions ici. En résumé, les cavernes de l'âge de la pierre polie fouillées à Gibraltar ont mis à jour deux types, l'un dolichocéphale, tout à fait semblable à celui des Basques modernes du Guipuscoa; l'autre mésaticéphale, pareil à celui de la sépulture préhistorique d'Orrooy.

2° *Ossements provenant des cavernes du Périgord* (crânes des Eyzies). — Ces cavernes, situées sur les rives de la Vezère, ont été fouillées en avril 1868, par M. Louis Lartet, fils de l'éminent paléontologiste; elles appartiennent à l'âge du renne. Celle qui a fourni les ossements qui ont été étudiés par M. Broca, est creusée dans un rocher qui porte le nom de Cro-Magnon. Ce rocher était recouvert d'un talus de 4 mètres de terre, dont l'enlèvement, nécessité par les travaux du chemin de fer, mirent à jour les silex taillés et les ossements humains. Voici ce que M. Louis Lartet dit de la caverne. « La présence à tous les niveaux des mêmes grattoirs de silex, si finement retouchés, comme ceux de *Gorge d'enfer* et des mêmes animaux qui s'y trouvent pareillement associés dans cette station classique, nous font admettre que ces vestiges de l'habitation successive de l'abri de Cro-Magnon se rattachent au passage, dans la contrée, d'une même race de chasseurs, lesquels ont pu ne faire, dans le principe, de cette grotte, qu'un simple rendez-vous de chasse, où ils venaient se partager les dépouilles des animaux tués dans le voisinage; plus tard, ils l'ont habitée d'une façon permanente. Enfin, à l'époque où l'accumulation de leurs *débris de cuisine*, en exhaussant le sol de cette cavité, en réduisaient considérablement la hauteur (1^m,20) et le rendaient incommode pour l'habitat, ils l'auraient peu à peu abandonnée et y seraient revenus une dernière fois

pour y cacher leurs morts. Depuis, cette cavité n'a plus été accessible, si ce n'est peut-être à quelques renards particuliers, et la dégradation faisant lentement son chemin, a couvert peu à peu cette étrange sépulture d'une couche puissante qui en révélerait à elle seule la haute antiquité.

« La présence dans ces couches, de foyer, de débris du mammouth, du lion des cavernes, d'un ours de grande taille, du renne, de l'aurochs, du spermophile, corrobore de tout point cette évaluation... » (*Matériaux pour la science de l'homme,* 1868, p. 127.) Cette découverte a fourni à M. Broca l'occasion d'une belle étude sur les crânes et ossements des Eyzies, qui a été communiquée au congrès et que l'on trouvera *in extenso* dans les *Bulletins de la Société d'anthropologie* (p. 350-391). Du résumé de cette étude nous extrairons quelques fragments caractéristiques :

« Nous trouvons dans la race des Eyzies une réunion remarquable de caractères de supériorité et de caractères d'infériorité. Le grand volume du cerveau, le développement de la région frontale, la belle forme elliptique de la partie antérieure du profil du crâne, la disposition orthognathe de la région faciale supérieure, d'où résulte une ouverture considérable de l'angle facial de Camper, sont d'incontestables caractères de supériorité qu'on est habitué à ne rencontrer que chez les races civilisées. D'un autre côté, la grande largeur de la face, le prognathisme alvéolaire, l'énorme développement de la branche de la mâchoire, l'étendue et la rudesse des surfaces d'insertion des muscles et spécialement des muscles masticateurs feraient naître immédiatement l'idée d'une race violente et brutale, quand même nous ne saurions pas que la femme a été tuée d'un coup de hache et que le fémur du vieillard porte les traces d'une ancienne et grave blessure. Notons encore la simplicité des sutures et leur soudure probablement assez précoce qui procède d'avant en arrière, comme chez les peuples barbares. Ajoutons que la conformation athlétique des os, et en particulier la saillie extraordinaire de la ligne âpre du fémur, témoignent un grand développement des puissances musculaires ; rappelons, enfin, que trois caractères, la largeur excessive de la branche de la mâchoire, la courbure sous-coronoïdienne du cubitus dont la cavité coronoïde est très-peu profonde et surtout l'aplatissement des tibias sont plus ou moins simiesques, et nous

compléterons ainsi le tableau d'une race qui, par quelques-uns de ses traits, atteignait les degrés les plus élevés et les plus nobles de la morphologie humaine, et qui, par d'autres traits descendait même au-dessous des types anthropologiques les plus inférieurs de l'époque actuelle. »

Cette race des Eyzies est, par ses caractères anatomiques, entièrement différente de toutes les autres races anciennes ou modernes qui nous sont connues jusqu'ici.

3° *Ossements provenant d'un cimetière de l'âge du renne à Solutré* (Saône-et-Loire). — Ce gisement a été découvert et très-scientifiquement exploité par MM. de Ferry et Arcelin. Il est situé en un lieu dit *Clos du Charnier*, tertre inculte exposé au midi et abrité du nord par un rocher. Ce tertre a une superficie d'environ un hectare. Toute cette superficie est jonchée de silex taillés; on les voit blanchir dans les jardins et dans les chemins du village; mais au Clos du Charnier, situé au-dessus du village, il y a une véritable concentration de silex et d'ossements à fleur de terre. Sous le sol, on trouve des débris épars consistant en silex taillés et en ossements disséminés de renne, de cheval ou d'hommes. Au-dessous se trouvent des amas de rebuts de cuisine ou d'habitation. Leur emplacement est circonscrit par un trapèze mesurant 462 mètres de superficie environ. Ces amas consistent en traînées de cendres mêlées à des fragments d'os, de bois de renne, de lames de silex et de substances minérales étrangères à la contrée. A part quelques os brûlés formant un résidu noir, tous les débris d'animaux sont d'une conservation étonnante. Certaines cornes de renne sont encore extrêmement dures, et dégagent, quand on les travaille, l'odeur de la corne fraîche. Les ossements de chevaux, moins nombreux que ceux du renne, sont encore abondants. Il faut ajouter à ces débris ceux de l'éléphant, du cerf, de l'aurochs et du tigre des cavernes. Mais, tout autour du trapèze qui circonscrit ces amas, on trouve une énorme quantité de débris de chevaux qui ont subi l'action du feu. MM. de Ferry et Arcelin évaluent la superficie recouverte à 849 mètres carrés sur une épaisseur moyenne de 50 centimètres. Un mètre cube du magma représenté par ces débris formés en une masse serrée homogène compacte a donné 40 canons entiers, ce qui donne, pour la superficie occupée par ces amas environ 2,122 chevaux. Enfin les

sépultures humaines sont groupées sur l'espace occupé par les foyers et par les amas de chevaux. Ces sépultures, sans orientation, étaient les unes en dalles brutes, les autres dans la terre libre.

MM. de Ferry et Arcelin ont exhumé environ 50 individus qui ne représentent qu'une faible partie de ce vaste ossuaire. Ces individus sont en majorité des vieillards et des enfants.

Les ossements ont été étudiés par M. Pruner-Bey, homme d'un vaste savoir et d'un rare dévouement à la science, mais qui est, malheureusement, partisan d'une théorie inacceptable et d'une méthode subordonnée à cette théorie. Nous en avons déjà parlé à propos du congrès de Paris et nous n'y reviendrons pas. Dans l'état présent de l'anatomie des races préhistoriques, il est évident qu'il n'y a qu'un seul procédé à suivre: décrire minutieusement tous les caractères des débris, mesurer rigoureusement et s'abstenir de rattacher prématurément à l'une des souches modernes les races préhistoriques. M. Pruner-Bey, imbu de la théorie de l'antériorité des races hyperboréennes dans l'Europe centrale rattache à la race mongoloïde toutes les populations de l'âge du renne, et il a découvert parmi les individus de Solutré : 1° le type lapon à tête arrondie ou brachycéphale, au squelette grêle et de petite taille; 2° le type finnois, sur la limite des têtes longues et des têtes rondes; 3° le type esthonien, caractérisé par l'allongement du crâne, type que M. Pruner-Bey croit avoir trouvé aux ossements des Eyzies; 4° enfin un type particulier à Solutré que M. Pruner-Bey a nommé eskimoïde, à cause de son affinité avec celui des populations du détroit de Behring.

Ces dénominations nous donnent l'opinion de M. Pruner-Bey, mais rien autre chose. Souhaitons que les ossements de Solutré soient un jour livrés à l'étude en quelque sorte publique, et qu'au lieu de nous donner des opinions sur leur origine ethnique, on se borne à nous donner des descriptions fidèles et des mensurations exactes.

Quoi qu'il en soit, la conclusion de MM. de Ferry et Arcelin est que le Clos du Charnier « fut le lieu d'un campement considérable, d'une station de chasse très-fréquentée, transformée à un moment donné, et, selon toute apparence, successivement en un grand tertre funéraire. » L'accumulation des chevaux est le résultat de l'accomplissement de rites funéraires qui consistaient

dans le sacrifice, et probablement l'incinération d'un ou de plusieurs de ces animaux. Nous renverrons au mémoire des auteurs pour tout ce qui concerne les déductions relatives aux mœurs et à la civilisation des chasseurs de renne du Mâconnais ; mais pour ce qui est des caractères anatomiques des hommes de Solutré, tout est à faire.

Terminons ici notre compte rendu du congrès de Norwich, non toutefois sans signaler le mémoire de M. Flower sur les *sépultures préhistoriques de l'Algérie*, remarquable à tous les titres. Celui de M. Brash sur les *monuments ogham* des contrées du sud et du sud-ouest de l'Irlande, et les documents très-importants présentés par M. Bruce Foote et par sir Walter Elliot sur l'Inde préhistorique. Nous sommes loin d'avoir épuisé les travaux du congrès ; mais la longueur de ce compte rendu nous force à nous arrêter. Si le congrès de Paris, par la solennité, l'élévation et la profondeur de ses discussions, a dépassé celui de Norwich, sans aucun doute celui-ci s'est montré supérieur au point de vue de la variété et de la nouveauté des sujets traités. Il est, d'un autre côté, probable que le congrès de Copenhague marquera, dans l'anthropologie et l'archéologie préhistoriques, un pas définitif sur bien des points.

Congrès de Copenhague. — La quatrième session du congrès international s'est tenue à Copenhague du 27 août au 5 septembre, et n'a pas eu moins de succès que les précédentes ; mais les questions discutées ont été plus restreintes. Jusqu'à présent, aucun compte rendu complet n'en a été publié. Nous nous bornerons donc à emprunter à la *Revue archéologique* le résumé suivant :

Propositions relatives à l'archéologie prehistorique du Danemark. — 1° En Danemark, on n'a retrouvé jusqu'ici aucune trace de l'âge de la pierre, correspondant à nos haches d'Abbeville et de Saint-Acheul, ni à notre âge des cavernes. Les pays Scandinaves paraissent par conséquent ne pas avoir eu d'habitants aux époques que nous connaissons sous les noms d'époque du mammouth et d'époque du renne.

2° L'époque des kjœkkenmœddings qui représente la première apparition de l'homme en Danemark, ne se distingnant de l'âge des dolmens que par des caractères très-peu marqués, l'é-

poque des dolmens doit être considéré comme constituant la première phase de la civilisation scandinave. Or la race des dolmens est déjà une race mêlée. Les crânes dolichocephales s'y trouvent en aussi grand nombre, au moins, que les crânes brachycéphales. Cette race n'a aucun rapport avec la race laponne ou mongole. Les affirmations contraires ont été la conséquence d'observations incomplètes, et les idées des archéologues doivent être rectifiées à ce sujet. Le congrès, sur ce point, a été très-explicite. Il en résulte que l'on ne doit point considérer les Lapons, encore moins les Esquimaux, comme les restes des anciennes populations de l'Europe occidentale refoulées avec le renne, dans les contrées boréales. Les Esquimaux, les Lapons et même le renne semblent être venus dans le Nord par une autre voie. Il y a là deux courants d'émigration très-distincts.

3° Le passage de la pierre au bronze a été beaucoup moins brusque et moins radical qu'on ne l'avait d'abord pensé. Les habitudes funéraires de l'âge de la pierre se retrouvent, en effet, en usage assez longtemps encore après le moment ou le bronze eut généralement remplacé la pierre pour les armes et les parures. Le rite de l'incinération ne s'est répandu dans le pays que peu à peu. Enfin, tout porte à croire que l'introduction du bronze est due en grande partie à des rapports commerciaux, dont on ne connaît pas encore bien le point de départ, mais qui paraissent devoir être cherchés dans la direction du sud-est, et dont on retrouve des traces en Silésie et dans les régions qui avoisinent le Caucase. Une autre voie aurait aussi existé, conduisant par la vallée du Rhin en Étrurie. C'est là une des questions qui doivent être approfondies au congrès de Bologne.

4° Bien que l'usage général du fer en Scandinavie et en Danemark ne date que d'une époque relativement récente et postérieure à l'ère chrétienne, toutefois la période précédente, où l'emploi du bronze dominait n'exclut point une certaine connaissance du fer, dont on a déjà, à plusieurs reprises, constaté la présence dans des monuments considérés autrefois comme appartenant exclusivement à l'âge du bronze. Le mot d'âge du bronze doit donc être pris dans un sens beaucoup moins strict que celui qu'on lui attribue jusqu'ici. Il indique la prédominance, de ce métal, mais non l'ignorance absolue du fer et se distingue très-difficilement de ce qu'on est convenu d'appeler en Italie et

en France le premier âge du fer, c'est-à-dire l'âge représenté par les antiquités des cimetières de Villanova près Bologne en Italie, de Halstadt (Allemagne méridionale) et d'Alaise (France).

Propositions nouvelles relatives à l'Allemagne. — 5° Une civilisation ayant de grands rapports avec notre premier âge du fer, tel que nous venons de le caractériser, est constatée en Silésie, contrée qui paraît avoir été traversée par une grande voie de commerce de l'antiquité.

Propositions relatives à la Russie. — On n'a trouvé jusqu'ici aucune trace des rapports entre la Russie orientale et les pays Scandinaves aux époques antéhistoriques. Au delà de Saint-Pétersbourg et de Moscou, vers l'est, non-seulement on ne trouve aucun vestige de monuments analogues aux dolmens, mais le caractère des objets de pierre et de métal appartenant aux civilisations primitives y est complétement distinct de celui des objets des mêmes âges, tant en Occident qu'en Danemark, en Suède et en Norwége. Il n'y a donc point à chercher de ce côté, dans le pays Mongol, par exemple, l'origine de la civilisation Scandinave; quant à la Russie méridionale où existe l'âge du bronze, il y est presque purement grec.

Ces diverses propositions sont livrées à la méditation des archéologues, qui sont invités à les contrôler et à les appuyer ou les combattre au prochain congrès. (*Revue archéologique*, octobre 1869.)

Le congrès de Copenhague, qui a duré dix jours, du 27 août au 5 septembre, a été pour les Danois l'occasion de déployer une hospitalité magnifique ; chaque jour a été marqué par des fêtes et par des banquets auxquels ont pris part les personnages les plus considérables de l'État, la famille royale en tête. C'est la langue française qui, sur la proposition d'un Allemand, M. de Ducker, a été exclusivement employée. Il a été décidé que le congrès se tiendrait en 1870, à Bologne (Italie). M. de Gozzadinia été élu président ; MM. Conestable (de Pérouse) et Capellini (de Bologne) ont été nommés commissaires. Nous osons prédire que cette réunion surpassera en intérêt et en résultats scientifiques toutes celles qui l'ont précédée.

E. Dally.

BIBLIOGRAPHIE

Les principaux documents qui nous ont servi pour rédiger le travail qui précède, sont d'abord les *Actes des Congrès internationaux* de Neufchâtel, de Paris et de Norwich. Les premiers ont été publiés dans le deuxième volume des *Matériaux pour l'histoire de l'homme*, excellent recueil périodique, où se trouve réunis, au fur et à mesure de leur apparition, tous les faits concernant l'homme préhistorique. Il se publie maintenant à Toulouse, par les soins de MM. Trutat et Cartailhac, et avec la collaboration de son fondateur, M. de Mortillet (chez Reinwald). Les actes du congrès de Paris forment un beau volume publié en 1868-1869. (Reinwald.) Ceux du congrès de Norwich viennent de paraître en langue anglaise à Londres. (Longmans et Green.) Le congrès de Copenhague n'a encore rien publié. M. Henri Martin, un de ses membres les plus actifs, a inséré, dans le journal *le Siècle*, huit *lettres* qui contiennent un compte rendu intéressant du congrès et des musées de la ville de Copenhague (8, 15, 27 octobre et 2, 3, 8, 10, 16 novembre 1869).

Mais c'est aux *Bulletins de la Société d'anthropologie* (1859-1869. V. Masson) que nous devons le plus grand nombre d'informations pour tout ce qui concerne les caractères anatomiques des races préhistoriques et sur les instruments en silex. C'est, d'ailleurs, à cette Société qu'est dû le mouvement considérable qui, de nos jours, pousse l'esprit de recherche vers l'étude des origines et des conditions présentes du genre humain. La première, elle a consenti à discuter sérieusement les travaux si persévérants de M. Boucher de Perthes, et à leur donner une adhésion publique; elle a servi de modèle aux sociétés d'anthropologie qui se sont successivement fondées à Londres, à Madrid, à New-York, à Moscou ; enfin elle a été le centre et le point d'appui du congrès de Paris, qui a réuni, en 1867, la plupart des archéologues et des anthropologistes de l'Europe et de l'Amérique. D'ailleurs, ainsi que le montrent ses *Bulletins*, la prospérité de cette Société est des plus remarquables; elle compte environ 400 membres dont l'activité donne aux séances le plus vif intérêt.

Outre les mémoires originaux de MM. Lartet et Christy (*Reliquiæ aquitanicæ*, publiés en anglais), de MM. Broca, de Mortillet, Desor, Garrigou, Chantre, Leguay, Roujou, Pruner-Bey, etc., nous avons consulté les beaux ouvrages de M. Nilsson, récemment traduits en français : *Les habitants primitifs de la Scandinavie* (Reinwald, 1868), et de M. Daniel Wilson : *Prehistoric annals of Scotland* (1860, 2 vol.), qui, pour avoir paru l'un des premiers dans la carrière, n'en restera pas moins comme un monument d'exactitude et d'érudition.

Enfin, il y a peu de jours, la librairie Hachette a mis au jour un volume dû à la plume expérimentée de M. Figuier et intitulé *l'Homme primitif*, ouvrage illustré de 30 scènes de la vie de l'homme primitif, composées par M. Émile Bayard, et de 232 figures représentant les objets usuels des premiers âges de l'homme, dessinées par Delahaye. Ces figures sont bien faites et paraissent fort exactes. Quant aux *scènes* de M. Bayard, elles sont bien dessinées. Chacun conçoit les hommes primitifs à sa façon, et M. Bayard en a fait des Antinoüs; un autre en fera des singes, un autre des monstres.

Si nous parlons tout d'abord des images, c'est qu'ici, comme dans un ballet, c'est la danse, c'est-à-dire l'image, qui paraît être la grosse affaire et non le texte, je veux dire la musique. Le livre de M. Figuier est destiné aux étrennes. Cela ne l'a pas dispensé, malheureusement, d'être sérieux et, au lieu de se borner à raconter des histoires plus ou moins imaginaires, de faire gravement appel aux auteurs originaux et de se réclamer d'eux. Sans doute tout n'est point mauvais dans ce livre, et l'*âge des métaux*, qui en constitue un bon tiers, est rédigé d'une façon assez claire et assez exacte, grâce aux nombreux documents mis à profit par le rédacteur. Mais nous n'en saurions dire autant des parties de l'ouvrage qui se rapportent à l'âge de la pierre.

Là il n'y a rien à apprendre si l'on ne connaît d'avance la question géologique. Dire que l'homme a vécu contemporain du mammouth sans dire un mot de la faune tertiaire, et renfermer en un seul paragraphe tous les renseignements géologiques, ce n'est vraiment pas le fait d'un livre élémentaire. La compilation n'a d'excuse que par une heureuse méthode, et les premiers chapitres du livre de M. Figuier en sont absolument dépourvus.

A la suite de l'introduction qui expose assez bien le sujet,

quoique d'une façon incomplète, la première question qui se présente comme traitée à fond est celle de la dérivation de l'homme du singe. Elle est « approfondie. » Comment? A l'aide d'une citation empruntée à M. de Quatrefages et de quelques dessins qui représentent des crânes de gorilles et d'orangs adultes. De là bien des exclamations inutiles, car, loin d'être approfondie, la question n'est même pas bien posée. Il ne s'agit pas de savoir si l'homme descend du singe, et c'est bien à tort que M. Figuier prête l'opinion affirmative à MM. Vogt et Huxley. L'opinion de M. Vogt est que l'homme et certains singes pourraient bien avoir pour progéniteur commun un primate éteint et inconnu, mais non que l'homme est un gorille perfectionné. L'opinion de M. Huxley est que, s'il y a une théorie scientifique possible de l'origine de l'homme et des animaux, c'est celle de la descendance modifiée, et, à ce titre, il a donné son adhésion à l'hypothèse de M. Darwin ; mais jamais il n'a écrit une ligne qui pût faire croire à M. Figuier que l'homme descendait d'un singe.

Que M. Figuier parle d'une théorie qu'il ne connaît pas, le transformisme ; qu'il donne, comme « jugement définitif et scientifique », l'immutabilité de l'espèce aujourd'hui battue en brèche de toutes parts ; qu'il ignore la plus grande partie des faits qui se rattachent à l'homme de l'époque tertiaire, et qu'il néglige sciemment de rapporter ceux que MM. les abbés Bourgeois et Delaunay ont démontré de l'aveu de tous en 1867 ; qu'il ne cite jamais ni la Société d'anthropologie au sein de laquelle se sont produits la plupart des travaux sur l'homme préhistorique, ni M. Broca, dont les travaux font autorité sur la matière ; qu'il ne se doute même pas qu'un congrès important, dont l'éclat le cède à peine à celui de Paris, s'est tenu à Norwich en 1868 ; un autre à Copenhague en 1869, et que, dans un livre qui porte le millésime de 1870, il ne soit question ni de la sépulture de Cro-Magnon si complétement étudiée par MM. Lartet et Broca, ni des cavernes de Gibraltar, ni du cimetière de Solutré au sujet duquel de nombreuses publications ont été faites par MM. de Ferry, Arcelin et Pruner-Bey, cela ne surprend aucun de ceux qui connaissent les travaux antérieurs de M. Figuier. Mais représenter faussement les opinions des gens, c'est autrement grave. Cela prouve que l'on n'a même pas compris les auteurs que l'on a compilés.

Néanmoins M. Figuier, qui prétend que les doctrines qui rat-

tachent l'homme aux singes « ont attristé la conscience publique, » reconnaît cependant « qu'aux premiers temps de son existence l'homme ne dut pas se distinguer beaucoup de la brute. » Était-ce vraiment la peine, en ce cas, de déclamer contre ceux qui, tout en partageant l'opinion de M. Figuier, cherchent à l'expliquer par l'étude des caractères anatomiques? Était-ce la peine de s'écrier: « En vérité, toute cette anatomie fait pitié! » Était-ce la peine de faire grand étalage d'orthodoxie biblique pour se contredire et s'appitoyer sur l'homme « au moment où il fut jeté faible et chétif sur la terre, au milieu de la nature inclémente et sauvage qui l'entourait? » M. Figuier a-t-il donc oublié l'Éden?

Mais laissons là ce chaos de contradictions, si peu fait pour justifier la violente intolérance et l'injuste partialité du compilateur de *l'Homme primitif;* négligeons aussi cette assertion si légère, mais si péremptoire, que l'homme né sur les plateaux de l'Asie centrale, dut à « l'action du climat et du milieu qu'il habitait la formation des différentes races blanche, noire, jaune et rouge qui existent aujourd'hui avec leurs infinies subdivisions; » M. Figuier n'a évidemment pas mesuré la portée de cette opinion. Mais, que dire de cette prétention de la préface: « Personne jusqu'ici n'a entrepris de débrouiller et d'écrire un ouvrage *lié* sur tous les faits qui concernent l'homme aux premiers temps de son apparition? » Il est vrai que cet ouvrage *lié* devient, à la page suivante, « un modeste essai qui donne l'ébauche d'un plan. » Mais ouvrage *lié* ou ébauche de plan, il est certain que toute prétention à « l'*impartialité* » doit en être écartée.

Ces raisons, et d'autres encore qu'il serait trop long de développer, ne nous permettent pas d'accorder à M. Figuier « l'indulgence qu'il réclame du public et des savants. » Le public n'a été que trop indulgent : quant aux savants, il suffit de lire les jugements sévères que M. Figuier porte sur les ouvrages de MM. Lyell, Lubbock, Vogt et Huxley pour être assuré que leur indulgence en ferait des dupes. D'ailleurs, les savants n'ont rien à voir dans les ouvrages de M. Figuier. Nous savons pour qui M. Figuier écrit et à quels étranges *accommodements* il sait prêter sa plume productive; aussi n'eussions-nous pas parlé de cet ouvrage si, après l'avoir lu, nous n'avions senti le désir de nous élever contre cette adaptation si fâcheuse d'une science à peine formée à une entreprise commerciale. Sans aucun doute, quelques parties de l'ouvrage

de M. Figuier sont assez clairement résumées; mais, quand nous considérons le caractère général de l'œuvre, ses lacunes, la cause de ses omissions volontaires, ses légèretés et sa partialité, nous nous reportons à la première phrase de la préface, où nous avons lu cette phrase singulière : « J'entreprends d'exposer ici une science qui n'existe pas encore; » et nous regrettons, pour M. Figuier et pour ses lecteurs, qu'il n'ait pas attendu qu'elle existât avant d'en parler.

Annonçons, en terminant, que M. de Mortillet, qui, lui, a su attendre, va publier par fascicules, dans quelques semaines, chez Reinwald, un ouvrage considérable sur le même sujet. Cet ouvrage sera orné de cartes qui représenteront les conditions géologiques de l'Europe, et de planches qui, parallèlement, donneront les objets d'industrie et les débris des races éteintes. Cet ouvrage sera une magnifique contribution de notre pays à la science des temps préhistoriques. M. Letourneau compte aussi donner très-prochainement une traduction de l'ouvrage de Buchner avec le titre: *l'Homme selon la science* et les sous-titres séduisants : *D'où venons-nous? Qui sommes-nous? Où allons-nous?*

E. Dally.

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

I

LE PERCEMENT DE L'ISTHME DE SUEZ.

A voir sur une carte géographique combien est étroite la langue de terre qui sépare l'Afrique de l'Asie, on s'explique que le projet de percement de l'isthme de Suez ait passionné nombre de bons esprits. Cet isthme semble être, en effet, le seul obstacle à une navigation directe entre l'Europe, avec ses prodiges de civilisation, ses arts, ses innombrables manufactures, et l'extrême Orient, pays producteur par excellence des matières premières que réclame notre industrie. Sans doute on se tromperait beaucoup si l'on s'avisait de tracer la route d'un navire sur les mers de notre globe par la voie qui est en apparence la plus courte. La célérité des voyages ne dépend pas uniquement de la distance à parcourir; il faut tenir compte aussi de la situation des ports de relâche, des courants, des vents et des circonstances atmosphériques de toute nature. Il est probable que le creusement d'un canal à travers l'isthme de Suez ne sera pas aussi avantageux au commerce qu'on se le figure au premier abord; cepen-

dant c'est une entreprise qui s'est acquis de nombreuses sympathies.

On a discuté longtemps la question de savoir si l'opération était possible ; on discute encore un peu aujourd'hui sur les avantages financiers qu'en retireront les nations européennes et les actionnaires qui y ont consacré leurs épargnes. Envisagée de plus près, cette entreprise a mérité de fixer l'attention du monde savant par l'habileté que les ingénieurs y ont déployée, par de nouvelles et puissantes méthodes de travail que l'on avait l'occasion d'appliquer pour la première fois. A des titres divers, le percement de l'isthme de Suez est donc digne d'occuper une place dans le chapitre que l'*Annuaire* consacre aux travaux publics et aux découvertes des ingénieurs.

I

Du plus loin que remontent les traditions et les souvenirs écrits de l'histoire, il semble y avoir eu des relations commerciales entre les contrées dont la Méditerranée baigne les rivages et les peuples qui habitaient dans les vallées de l'Indus et du Gange. Non pas que les Égyptiens, plus anciennement civilisés que leurs voisins du Nord et du Midi, aient formé un trait d'union entre eux ; loin de là, les anciens Égyptiens étaient, comme ceux de l'ère moderne, des hommes passifs et résignés qui ne s'éloignaient pas volontiers de leur pays et qui manquaient d'initiative.

Les premiers navigateurs connus furent les Phéniciens, trafiquants intrépides, qui s'étaient mis en rapports d'affaires avec les habitants de la péninsule asiatique par deux voies différentes, d'un côté par l'Arabie et le golfe Persique, de l'autre par la mer Rouge et le détroit de Bab el Mandeb. Tyr et Sidon étaient jadis les entrepôts du commerce intercontinental. Quelques siècles plus tard, les Grecs, que les conquêtes d'Alexandre avaient rendus maîtres de l'Égypte, apprirent à leur tour le chemin de l'Asie orientale. On veut que leurs navires aient contourné l'île de Ceylan et se soient montrés à l'embouchure du Gange aussi bien que sur les côtes du Béloutchistan. C'était par l'Égypte que passait sans doute, à cette époque, tout le trafic entre les deux con-

tinents : aussi la ville récemment fondée d'Alexandrie devint-elle promptement florissante.

On prétend que l'isthme de Suez était alors plus étroit. Dix-huit siècles avant l'ère chrétienne, le delta du Nil avait beaucoup moins d'étendue ; la Méditerranée couvrait l'espace qu'occupent aujourd'hui les lacs marécageux de Menzaleh et de Ballah ; le Nil lui-même coulait plus à l'est, car les branches de Péluse et de Tanis, qui sont maintenant presque desséchées, étaient alors les plus importantes. Il y avait là des villes magnifiques, tandis qu'on n'y voit plus que des débris de temples, des ruines et des tombeaux.

Si la Méditerranée s'avançait davantage au sud, de l'autre côté, la mer Rouge allait plus loin vers le nord. Il est probable que ses eaux entraient dans le bassin des lacs Amers et venaient mourir au pied des collines de Toussoum, que les ingénieurs du canal appellent actuellement le seuil du Sérapéum. La mer Rouge formait, au nord de Suez, le golfe d'Héroopolite. L'isthme n'avait que 90 kilomètres de large au lieu de 160. Le pharaon Nécos eut l'idée d'ouvrir un canal de navigation entre une branche du Nil et la côte septentrionale du golfe d'Héroopolite, ce qui ne devait pas être une œuvre bien difficile, car les navires de l'époque étaient de faible tonnage, et, d'ailleurs, les souverains de l'Égypte avaient le talent de faire exécuter des prodiges de travail manuel ; les pyramides en font foi. Un peu plus tard, il fut nécessaire de continuer ce canal dans la direction de Suez, parce que le détroit qui unissait le golfe à la mer Rouge s'était ensablé. Les maîtres successifs de l'Égypte, Grecs et Romains, donnèrent à l'entretien de ces travaux une attention soutenue ; ils maintinrent la communication entre les deux mers avec le plus grand soin.

Au septième siècle après Jésus-Christ, la terre des Pharaons subit l'invasion musulmane. Les Arabes, pasteurs, guerriers, fanatiques, ont détruit plus qu'ils n'ont créé dans les contrées qu'ils ont conquises. En 767, le calife Abou Giaffar, étant en guerre contre Médine, voulut arrêter tout trafic entre l'Égypte et la mer Rouge. A cet effet, il fit ensabler le canal un peu au-dessus de Suez. Le golfe Héroopolite devint alors un lac intérieur ; les eaux s'évaporèrent peu à peu ; ce ne fut plus qu'une vallée, profonde de 9 à 10 mètres, dont le sol, recouvert d'efflorescences salines, repoussait toute végétation.

En même temps les croisades substituèrent, pendant deux siècles, un état de guerre permanent aux relations pacifiques que le commerce avait établies entre l'Orient et l'Occident. L'Égypte ne fut plus un pays d'entrepôt, un marché intercontinental; elle devint une barrière entre l'Inde et l'Europe. Les républiques marchandes de l'Italie, Venise, Gêne, Pise, conservèrent seules des rapports avec l'Asie; ce fut sans doute le principal élément de leur prospérité au moyen âge. L'Europe chrétienne, peu conséquente, anathématisait les marins vénitiens, parce qu'ils ne s'abstenaient pas de négocier avec les infidèles. Mais les découvertes maritimes du seizième siècle ouvrirent de nouvelles routes. Vasco de Gama fit voir que l'on pouvait aller aux Indes en faisant le tour de l'Afrique par le cap de Bonne-Espérance et s'affranchir ainsi des vexations que les Arabes, maîtres de la mer Rouge et de la vallée de l'Euphrate, imposaient aux voyageurs. Ce fut, comme on sait, le signal de la décadence des marines de la Méditerranée, qui avaient eu jusqu'alors le monopole du commerce avec l'extrême Orient. Les Portugais, les Français, les Hollandais, les Anglais s'établirent sur les côtes de l'Hindoustan. Pendant trois siècles encore, la route de la mer Rouge fut négligée.

Ce ne fut qu'à la fin du siècle dernier que la question d'un passage direct entre la Méditerranée et la mer Rouge fut agitée de nouveau. Le savant voyageur Volney avait visité les lieux; mais, effrayé par la stérilité du désert, il avait considéré que le projet était irréalisable. Bonaparte avait conçu l'expédition d'Égypte comme une menace contre l'empire des Anglais dans l'Inde; le percement de l'isthme de Suez devait, à ce point de vue, attirer son attention. Il prescrivit aux savants qui l'avaient accompagné de relever le plan du terrain; par une erreur inconcevable, l'ingénieur Lepère, auquel avait été confié ce travail, conclut à une différence de niveau de près de dix mètres entre les deux mers, si bien qu'un canal à écluses était seul possible.

Les longues guerres du premier empire, non moins que cette conclusion erronée, arrêtèrent pendant longtemps toute entreprise sérieuse. Au retour de la paix, l'Égypte tomba entre les mains de princes actifs et intelligents, qui firent appel aux Européens et se montrèrent disposés à favoriser les grandes entreprises de travaux publics. Vers 1835, quand la supériorité de la naviga-

tion à vapeur fut bien établie, les Anglais songèrent à s'assurer une voie de transport vers l'Inde plus rapide que la route du cap de Bonne-Espérance. Ils explorèrent la mer Rouge, et, malgré les obstacles sérieux qu'elle offre à la navigation, ils y créèrent des services de bateaux à vapeur dont Suez, Aden et Bombay furent les ports de relâche. De là date la prospérité moderne d'Alexandrie. La traversée de l'isthme prenait beaucoup de temps; ils construisirent un chemin de fer d'Alexandrie au Caire et du Caire à Suez : et alors, au lieu de trois mois que l'on mettait pour aller de l'Angleterre dans l'Inde, il ne fallut plus que vingt-cinq à trente jours.

En même temps des ingénieurs français, MM. Talabot et Bourdaloue, reprenaient, avec des méthodes perfectionnées, le travail de nivellement qui avait conduit Lepère à un si singulier résultat. Ils constataient que, déduction faite d'une marée de 2 mètres à Suez et de 40 centimètres à Alexandrie, il n'y a entre les deux mers qu'une différence de niveau de 85 centimètres. C'est la mer Rouge qui est la plus élevée. On s'était toujours dit que le niveau de tous les océans doit être à peu près le même à la surface du globe; mais les vents régnants et le surcroît d'échauffement de la mer Rouge suffisent parfaitement à expliquer cette faible dénivellation.

Ce fut alors qu'un Français, M. Ferdinand de Lesseps, issu d'une famille honorablement connue dans la diplomatie, entreprit de constituer une société financière pour le percement de l'isthme de Suez. M. de Lesseps connaissait l'Égypte où il avait été consul pendant plusieurs années. Il obtint sans beaucoup de peine des firmans de concession qui portent les dates de novembre 1854 et janvier 1856. Une compagnie se forma au capital de 200 millions de francs, en décembre 1858. L'entreprise était bien aventureuse; toutefois le capital fut entièrement souscrit, grâce, il est vrai, au généreux concours du pacha, qui prit à lui seul 178,000 actions sur un chiffre total de 400,000.

II

Le canal que cette société se proposait d'exécuter était conçu sur un plan grandiose; il devait donner passage aux plus gros

navires ; on n'y voulait ni écluses ni détours inutiles qui seraient un retard ou une gêne pour la navigation. Il s'agissait donc d'aller droit du littoral de la Méditerranée au golfe de Suez. Disons ce qu'étaient la configuration et la nature géologique du terrain intermédiaire.

Les atterrissements du Nil ont fait reculer la Méditerranée, laissant derrière elle, depuis Damiette jusqu'aux ruines de Péluse, des lagunes sans profondeur, ou, à mieux dire, des marais que des terrains bas séparent les uns des autres. Une étroite langue de terre, un *lido* de 100 à 200 mètres de large et d'environ 2 mètres de haut, règne entre ces marais et la mer. Ce sont les lacs Menzaleh et Ballah ; les fellahs y naviguent par des chenaux sinueux et peu profonds avec des barques à fond plat qui n'ont que 40 à 50 centimètres de tirant d'eau.

Ces lacs sont bornés au sud par le seuil d'El Ferdane ou El Guisr, montagne de petites pierres et de sable qui s'élève à 17 mètres au-dessus du niveau de la mer ; au delà commence le bassin du lac Timsah, dont le fond descend à 6 mètres au-dessous de ce même niveau. Il recevait jadis l'eau du Nil, dans les grandes crues, par le débordement des canaux qui arrosaient la partie orientale du Delta ; le plus souvent il était à sec.

Vient ensuite le seuil du Sérapéum ou de Toussoum, qui domine de 14 mètres le niveau des mers, puis on redescend dans le bassin des lacs Amers, bassin à pente insensible, complétement desséché. Le fond était un banc de sel que les Bédouins des alentours exploitaient pour leurs besoins ; autour de cette masse de sel marin s'étendait une zone de vase ou de boue que l'on ne pouvait traverser que par quelques sentiers.

Enfin on atteint la hauteur de Chalouf, à 8 mètres d'altitude, d'où l'on redescend dans la plaine de Suez qui est presque au niveau de la mer Rouge, car le flot vient par les fortes marées battre le pied de ce seuil.

Ainsi 70 kilomètres dans les lacs littoraux, 20 dans le bassin du lac Timsah, 50 dans le bassin des lacs Amers, et 20 dans la plaine de Suez, voilà quatre sections bien délimitées. Comme nature de terrain, on trouve du sable très-fin plus ou moins vaseux sur les huit premiers kilomètres à partir de la Méditerranée, ensuite des argiles et des vases de dureté variable, quelquefois compactes, parfois des sables agglomérés en bancs minces, plus

rarement des bancs de calcaire et de gypse de faible épaisseur et assez tendres pour être entamés par des dragues puissantes. Un peu au nord des lacs Amers, le sol devient tout à fait argileux jusqu'à Suez, et, avant d'arriver à cette ville, on rencontre un banc de roche.

L'entrée du canal dans la Méditerranée fut déterminée par la condition de trouver les fonds descendant le plus rapidement, afin d'avoir une moindre longueur de jetées à construire. Le lieu choisi, plage jadis inhospitalière et déserte, fut appelé Port-Saïd, en l'honneur du pacha régnant. Il s'y trouve maintenant une ville de 10,000 âmes, un port magnifique et bien abrité de 50 hectares avec de vastes ateliers pourvus de toutes les ressources mécaniques. La profondeur du canal fut fixée à 8 mètres, ce qui suffit aux plus grands bâtiments du commerce actuel et suffira encore longtemps, suivant toute apparence, avec une largeur au plafond de 22 mètres, de façon que deux navires de fort tonnage puissent se croiser sans embarras. Quant à la largeur du plan d'eau, on s'était d'abord contenté de 58 mètres, mais elle a été définitivement fixée à 100 mètres, de telle sorte que les berges soient de très-faible inclinaison. C'est une condition essentielle pour éviter que le remous des bateaux à vapeur ne dégrade les talus.

Le canal traverse en ligne droite les lacs de la Méditerranée, s'infléchit un peu à l'ouest pour suivre la vallée des lacs Amers dans sa plus grande longueur et arrive à Suez avec une légère courbe pour éviter le banc de roche que des sondages ont fait découvrir.

La longueur totale de 160 kilomètres entre les deux extrémités du canal pouvait se diviser en trois parties suivant la nature du travail à y exécuter. D'abord la partie de moyenne hauteur comprenant les terrains dont le sol est à peu près au niveau de la mer, c'est-à-dire les marais de la Méditerranée, la plaine de Suez et les abords des lacs, le tout ayant ensemble une longueur de 75 à 80 kilomètres. Puis la partie basse, 30 kilomètres environ, comprenant la traversée des lacs Timsah et Amers, où il n'y avait à faire que des dragages de peu d'épaisseur. Enfin la partie haute comprenant la traversée des trois seuils d'El Ferdane, du Sérapéum et de Chalouf, où il y avait à creuser des tranchées profondes. Des méthodes différentes de-

vaient être appliquées à chacune de ces trois parties; mais il importe d'observer que le travail était d'ailleurs d'une uniformité remarquable. C'étaient toujours et partout des mètres cubes de sable ou d'argile à enlever, et rien autre chose[1]. Il est vrai que de ces mètres cubes, il y en avait 75 millions à manier, et cela dans la contrée la moins propre à la formation de grands ateliers.

La ligne à creuser était partout très-éloignée de l'eau douce et de la terre cultivée. Le lieu où Port-Saïd devait être créé n'était rien qu'une plage nue n'offrant aucun abri aux navires. Les premiers bâtiments qui amenèrent du matériel durent mouiller au large et décharger en jetant à la mer leur cargaison, que l'on fit flotter jusqu'au rivage. Il n'y avait, dans les sables, que quelques touffes de tamaris; encore cette mesquine végétation disparaissait-elle dès qu'on arrivait sur les terrains argileux. Le canal d'eau douce qui amenait une dérivation du Nil dans la vallée de l'Ouady, s'arrêtait à 50 kilomètres du futur canal maritime. La ville de Suez était en plein désert, à 140 kilomètres de toute culture. Il ne s'y trouvait que des puits saumâtres. Depuis l'achèvement du chemin de fer, on y apportait en wagon l'eau du Nil. Au milieu du lac Menzaleh, on vivait sur des îlots de vase fétide, dans une atmosphère de moustiques. Dans les parties hautes, on risquait de périr par insolation. Les ateliers, dispersés sur la longueur de l'isthme, étaient ravitaillés de vivres et d'eau par des caravanes. Qu'une de ces caravanes vînt à s'égarer dans le désert, les ouvriers étaient condamnés à mourir de soif. La compagnie eut, dans les premiers temps, des troupeanx de 2,000 chameaux employés à ce service.

Le travail le plus pressé était donc d'assurer l'alimentation des chantiers et d'ouvrir d'une mer à l'autre une voie de transport pour les desservir. Dans ce but, la compagnie prolongea, de l'est à l'ouest, l'ancien canal de l'Ouady, qui vint aboutir auprès du lac Timsah, à 6 mètres au-dessus du niveau des mers. A l'extrémité, elle fonda son principal établissement, la ville d'Ismaïlia. Ce canal fut ensuite prolongé du nord au sud, dans la direction de Suez, avec une largeur telle, que la circulation par bateaux y fut possible. Du côté de Port-Saïd, la hauteur d'El Ferdane faisait obstacle à ce que le canal d'eau douce fût rapidement établi. Les

[1] Près de Suez seulement, il y a un banc de roche de faible épaisseur.

ingénieurs se contentèrent de poser des conduites en fonte de fort diamètre dans lesquelles l'eau fut refoulée par une machine à vapeur établie à Ismaïlia.

Dès le début, on avait amené par mer quelques petites dragues à Port-Saïd et l'on avait commencé à y creuser un bassin. Avec les produits de ces dragues, on remblayait un terre-plein sur lequel furent construites plus tard des maisons d'habitation, des forges, des fonderies, des ateliers de toute sorte. Disons tout de suite quels étaient les travaux à faire en cet endroit. On a vu plus haut qu'il n'existait pas de port; il fallait donc en creuser un; de plus, draguer un chenal d'entrée à la profondeur minimum de 8 mètres jusqu'aux grands fonds de la mer, et enfin abriter ce chenal par deux jetées, l'une à l'ouest de 2500 mètres de long, l'autre à l'est de 1800 mètres. Au reste, une fois l'eau douce amenée sur le chantier, il n'y avait pas là de difficultés extraordinaires, car les entrepreneurs qui se chargeaient de l opération, MM. Dussaud frères, avaient une grande expérience de semblables travaux. Les jetées de Port-Saïd furent faites, comme celles d'Alger, de Cherbourg, de Marseille, au moyen d'énormes blocs de béton de 10 mètres cubes, pesant 20,000 kilogrammes chacun, fabriqués à terre et immergés après dessiccation. Il fallait 25,000 de ces blocs. Ces jetées, distantes de 1,400 mètres à leur origine à terre, vont en se rapprochant et ne laissent qu'un passage de 400 mètres entre leurs musoirs.

Ajoutons que l'entrée du canal, à Suez, réclamait de bien moindres travaux; le fond de la rade est bon, la lame n'y est jamais forte; un simple enrochement de 1,500 mètres de long suffit à protéger le chenal.

Tous les premiers travaux de terrassement étaient exécutés par les contingents d'ouvriers égyptiens que le vice-roi s'était engagé à fournir à la Compagnie. Les fellahs arrivaient par milliers sur les chantiers, y restaient un mois et retournaient chez eux. La Compagnie, outre le salaire qu'elle leur payait, avait encore à pourvoir à leur subsistance. Ils étaient mal outillés, mais robustes et durs à la fatigue; ils travaillaient bien. On n'avait jamais connu en Égypte d'autre moyen d'exécuter les travaux publics; le chemin de fer du Caire à Suez, notamment, avait été construit par corvées. Pour alimenter tant de milliers d'hommes au milieu du désert, la Compagnie n'avait pu faire autrement, à

l'origine, que de se charger elle-même de la fourniture des vivres. Peu à peu, dès que la population se fut accrue et que le canal d'eau douce fut ouvert à la navigation, les marchands européens s'établirent dans l'isthme ; le commerce privé apporta son concours, encouragé, aidé même par la Compagnie qui appréciait le concours de ces auxiliaires indépendants.

En 1864, après cinq années de travaux, avec l'aide des contingents égyptiens, voici quel était l'état d'avancement de l'entreprise. Le canal maritime avait été tracé à travers les lacs Menzaleh et Ballah, en creusant sur chaque bord une rigole dont les déblais constituaient des banquettes continues. La banquette du côté de l'Afrique avait reçu les conduites en fonte qui amenaient l'eau douce. Le canal de l'Ouady avait été prolongé d'abord jusqu'à Ismaïlia, où deux écluses le mettaient en communication avec le canal maritime, puis d'Ismaïlia à Suez. Une tranchée large de 12 mètres au plafond, et dont le fond descendait de 1 à 2 mètres au-dessous du niveau des mers, avait été creusée à travers le seuil d'El Guisr ; l'eau de la Méditerranée arrivait alors au lac Timsah, qui avait été rempli en partie. Le passage d'une mer à l'autre était donc praticable pour des bateaux de faible tirant d'eau. De plus, les seuils du Sérapéum et de Chalouf avaient été attaqués. Les travaux marchaient rapidement. A ce moment, le gouvernement égyptien, dominé par l'influence de la Turquie et de l'Angleterre, qui considéraient le travail par corvées comme un acte de despotisme blâmable, retira ses ouvriers. La Compagnie se vit obligée d'avoir recours à des ouvriers européens ou de donner une plus large extension aux procédés mécaniques. Au reste, cette modification des contrats primitifs entre le vice-roi et la Compagnie ne se fit pas à titre gratuit. L'empereur Napoléon III, appelé à prononcer comme arbitre en cette occasion, fixa à 84 millions l'indemnité due par le vice-roi, tant pour la suppression des corvées que pour la rétrocession d'une partie des terrains concédés et pour le remboursement des travaux de prolongement du canal d'eau douce.

III

Lorsque la Compagnie fut privée du concours des fellahs, sur lesquels elle avait d'abord compté, lorsqu'elle dut songer à orga-

niser le travail mécanique sur une échelle colossale, elle eut le bonheur de traiter avec deux entrepreneurs de grand talent, MM. Borel et Lavalley, pour l'exécution de la presque totalité des terrassements qu'exigeait l'achèvement du canal maritime. Comme l'organisation des nouveaux engins demandait un assez long délai, ces deux ingénieurs essayèrent d'abord de remplacer les contingents égyptiens par des ouvriers libres. Il y en avait bien déjà quelques-uns dans l'isthme: des Grecs, mauvais terrassiers, mais excellents marins; des Syriens venus des environs d'El Arisch et de Gazah; des Arabes, qui ne manquent pas d'habileté manuelle et qui deviennent volontiers chauffeurs des machines à vapeur, emploi très-pénible sous ce ciel de feu. MM. Borel et Lavalley envoyèrent des émissaires en tous pays pour recruter des ouvriers volontaires; ces embauchages ne fournirent que des hommes assez médiocres qui s'empressaient de quitter les chantiers à la première occasion. Mais les salaires s'étant élevés et la paye étant régulière, l'immigration spontanée amena bientôt autant d'hommes que l'on en désirait. L'Italie donnait des maçons et des charpentiers; le nord de l'Adriatique des forgerons et des mécaniciens; la France fournissait aussi de bonnes recrues à cette armée d'ouvriers, outre tout le personnel supérieur des ingénieurs et de leurs auxiliaires de tous grades.

C'était un fait déjà bien connu que les machines à draguer sous l'eau sont capables d'exécuter des terrassements à meilleur marché et avec au moins autant de célérité que les modes d'excavation employés sur un terrain sec[1]; mais il n'y avait pas d'exemple d'un travail de creusement aussi considérable que celui de l'isthme de Suez. On avait mis neuf ans pour enlever 7 millions de mètres cubes dans la rade de Toulon, vingt et un ans au port de Glascow, et trois ans à Newcastle pour un cube d'à peu près même importance qu'à Toulon. Dans l'isthme, MM. Borel et Lavalley se chargeaient d'enlever 45 millions de mètres cubes en quatre ou cinq ans, et, ce qui compliquait l'opération, une grande partie de ces déblais devaient être exécutée à

[1] Ceci est vrai d'une façon absolue pour les travaux exécutés avec des ouvriers européens; mais on s'est aperçu que les machines les plus perfectionnées ne peuvent rivaliser, sous le rapport de l'économie, avec la main-d'œuvre des fellahs.

travers les seuils du Sérapéum et de Chalouf, qui sont plus élevés que le niveau des mers.

Dans les travaux ordinaires de curage des ports maritimes, chaque machine à draguer est desservie par un certain nombre de gabarres à clapets de fond qui reçoivent les produits du dragage et vont se décharger à quelque distance en mer. La Compagnie avait fait fonctionner ses premières machines dans ces conditions à Port-Saïd. C'étaient des dragues à coques en fer munies d'une seule chaîne à godets dont l'extrémité inférieure dépassait l'avant du bateau afin que la machine pût s'ouvrir un chemin devant elle dans des bas-fonds où elle n'aurait pu naviguer avant le début des opérations. Les godets, de forme conique pour faciliter la vidange, contenaient 400 litres chacun. Une machine à vapeur de trente-cinq chevaux suffisait à toutes les manœuvres. Les bateaux porteurs, qui menaient les déblais en mer, avaient une capacité utile de 160 à 200 mètres cubes et étaient pourvus de machines à vapeur de cinquante chevaux.

Ces dragues ne suffisaient plus pour creuser le canal dans le parcours des lacs Menzaleh et Ballah, où il n'y avait pas assez d'eau pour faire flotter les porteurs et où l'on était, d'ailleurs, trop loin de la mer pour y conduire les déblais. Elles suffisaient moins encore dans la traversée des seuils, parce que les produits du dragage devaient y être élevés à une grande hauteur au-dessus de la ligne d'eau. Enfin il eût été trop lent de n'attaquer les travaux de creusement que par les extrémités du canal ; il était nécessaire de répartir les machines sur toute la longueur de la ligne à creuser. MM. Borel et Lavalley appliquèrent à la solution de ces diverses difficultés des moyens ingénieux que nous allons décrire.

D'abord, pour toutes les sections du canal où le sol naturel était d'un niveau à peu près égal ou inférieur à celui des mers, ces entrepreneurs prirent le parti de rejeter les déblais à droite et à gauche de la tranchée. Seulement le canal ayant 100 mètres de large au plan d'eau, c'est-à-dire 50 mètres de chaque côté de l'axe, il fallut pourvoir les dragues de couloirs d'une énorme longueur qui recevaient les déblais directement au sortir des godets et les conduisaient jusqu'au bord ; comme de plus ces couloirs devaient avoir une pente de 7 à 8 centimètres par mètre, sans quoi les déblais n'y auraient pas glissé, il fallut

exhausser l'extrémité supérieure de la chaîne des godets.

On fut conduit ainsi à fabriquer d'immenses appareils, désignés sous le nom de dragues à longs couloirs, dont le sommet des godets atteignait 15 mètres au-dessus du niveau de l'eau, et dont le couloir annexe mesurait 70 mètres de long sur 60 centimètres de creux et $1^{m},50$ de large. Cet énorme appendice était soutenu, vers le tiers de sa longueur, par un chaland en fer. Cette machine colossale enlevait environ 1000 mètres cubes par jour, et souvent davantage, lorsqu'elle était entre les mains d'une équipe bien dressée.

Il serait trop long d'entrer dans des détails plus étendus sur le fonctionnement des dragues à long couloir. Ajoutons seulement que le produit de leur travail est déposé sur le bord sous forme d'un cavalier continu dont le talus intérieur est maintenu sous une forte inclinaison par des palplanches ou des bourrelets de terre, tandis que le talus extérieur, délayé par l'eau que fournit une pompe à vapeur, est étendu autant que possible. Cette disposition a pour but d'accroître le cube du cavalier sans qu'il soit besoin d'en augmenter la hauteur.

Lorsque le terrain naturel avait une élévation telle, qu'il n'y avait plus assez de place sous l'extrémité inférieure du couloir pour loger le cavalier de dépôt, il devenait nécessaire de recourir à un autre procédé. Il est à remarquer que la nature du travail ne permettait pas d'enlever les déblais par wagons. Les matières délayées que déverse la drague n'ont pas la consistance requise pour supporter une voie de fer, le poids d'une locomotive et de wagons lourdement chargés. Au surplus, cette organisation eût exigé une main-d'œuvre considérable et le concours d'une quantité d'ouvriers que l'on n'avait pas. On employa, dans ce cas, des appareils élévateurs.

L'appareil élévateur se compose d'une voie de fer de 45 mètres de long, inclinée à 23 centimètres par mètre et placée perpendiculairement à l'axe du canal. Cette voie, soutenue par des poutres convenablement arc-boutées et contreventées, repose en son milieu sur un chariot qui est mobile le long de la banquette du canal; le bout inférieur, appuyé sur un chaland, est à 3 mètres au-dessus de l'eau; le bout supérieur, à 14 mètres au-dessus du même niveau, est en porte-à-faux et domine le terrain. On comprend sans peine comment cet appareil fonctionne. La drague

décharge ses déblais dans des caisses que supporte un bateau flotteur : ce bateau est amené au pied de l'élévateur qui enlève automatiquement chaque caisse, au moyen d'une machine à vapeur, et l'envoie se vider à son sommet. Cela est ingénieux, mais c'est en somme un appareil compliqué, sujet à plus de dérangements que la drague à long couloir. Aussi en a-t-on réservé l'usage pour les sections où celle-ci ne pouvait fonctionner.

Il n'y eut pas la moindre difficulté à mettre en chantier les dragues à long couloir et les élévateurs sur toute la traversée des lagunes de la Méditerranée et du lac Timsah, puisque les contingents égyptiens avaient creusé jusque-là, à droite et à gauche du futur canal maritime, des chenaux de 20 mètres de large sur 2 de profondeur. Les machines nouvelles étaient construites et armées à Port-Saïd, où existaient de vastes ateliers, et amenées par eau sur l'emplacement du travail à effectuer. Mais on voulait en outre les conduire dans la plaine de Suez.

Nous avons dit plus haut que le canal d'eau douce avait été prolongé d'Ismaïlia à Suez. Creusé le long des mamelons qui limitent la plaine, il conservait, sur ce parcours, un niveau de 4 à 5 mètres plus élevé que le canal maritime. Les entrepreneurs amenèrent leurs dragues toutes montées, au moyen de ce canal, jusqu'en un endroit où le sol naturel présentait une sorte de terre-plein. Arrivées là, elles se déblayèrent un bassin et l'approfondirent à 8 mètres. Ce travail fait, on refit une digue entre le canal et le bassin, puis on laissa l'eau du bassin s'écouler jusqu'à ce que les dragues fussent descendues au niveau de la plaine. Elles n'eurent plus alors qu'à s'avancer en s'ouvrant un chemin devant elles. Lorsqu'elles furent parvenues ainsi sur le tracé du canal maritime, elles se retournèrent, deux à droite, deux à gauche, et commencèrent leur travail effectif.

Telles sont quelques-unes des dispositions ingénieuses, — nous ne pouvons les décrire toutes, — auxquelles on eut recours pour attaquer simultanément le terrain sur toutes les parties du tracé où le sol naturel n'avait qu'une faible élévation au-dessus du niveau des mers. Voyons les procédés appliqués au percement des trois seuils, où il y avait une plus grande profondeur de tranchée à creuser. A El Ferdane, les ouvriers du vice-roi avaient ouvert une rigole étroite qu'il ne restait plus qu'à élargir. On y appliqua des excavateurs à sec dont les produits étaient enlevés

par wagons et des dragues ordinaires desservies par des bateaux-porteurs qui se déchargeaient à peu de distance dans le lac Timsah. Le Sérapéum est un plateau moins élevé qu'El Ferdane, avec des dépressions assez étendues ; le niveau général est à peu près à la hauteur du plan d'eau du canal de l'Ouady. Avec quelques remblais de médiocre volume, on en fit un lac artificiel dans lequel les dragues furent amenées par les mêmes moyens que dans la plaine de Suez. Les déblais étaient rejetés dans les dépressions latérales. Quant à la hauteur de Chalouf, il fut nécessaire de faire des terrassements à sec au moyen de wagons traînés par des mules. Il y avait là, en outre, un banc de roches dont il fallait extraire 25,000 mètres cubes, travail que les dragues auraient été impuissantes à effectuer. C'était le seul chantier où de nombreux ouvriers européens étaient nécessaires ; on les fit venir d'Italie. Les entrepreneurs ne manquaient pas d'ouvriers arabes, mais ceux-ci, précieux pour les travaux ordinaires, en raison de ce qu'ils ne redoutent pas la chaleur du climat, n'auraient pas été capables de faire le métier de mineurs.

Il n'est pas sans intérêt d'énumérer les appareils mis en œuvre par MM. Borel et Lavalley pour cette colossale entreprise. Leur matériel se composait notamment de 76 dragues, dont 20 à longs couloirs, 18 élévateurs, 109 gabarres ou bateaux-porteurs, et en plus de près de 200 bateaux de diverses dimensions pour transporter les charbons et les approvisionnements de toute sorte. Les machines à vapeur faisaient un total de 13,000 chevaux-vapeur et consommaient 10,000 tonnes de charbon par mois. La Compagnie et les autres entrepreneurs possédaient, en outre, 4,700 chevaux-vapeur consommant 2,400 tonnes par mois. Dans les dernières années, le travail mensuel atteignait 1,500,000 mètres cubes de déblais en moyenne. Il y avait dans l'isthme, d'un bout à l'autre du canal, sur ce terrain stérile et autrefois désert, une population de 25,000 individus, dont 13,000 ouvriers.

Nous donnerons une idée encore plus exacte de l'importance des travaux que MM. Borel et Lavalley avaient mission d'accomplir en disant que, sur une dépense de 100 millions de francs, ces entrepreneurs comptaient 40 millions pour l'achat du matériel ci-dessus[1], 20 millions pour le charbon, 30 millions

[1] Cette évaluation a été donnée au début des travaux. En réalité, le matériel de dragage a coûté 60 millions.

pour la main-d'œuvre et 10 millions pour les frais généraux.

Si bien ordonné que fut l'ensemble, si minutieusement étudiés que fussent les détails de l'opération, il est aisé de comprendre qu'il y eut quelques mécomptes dans l'exécution. Les dépenses s'élevèrent beaucoup plus haut que les prévisions primitives. L'ouverture du canal maritime à la grande navigation que l'on avait annoncée pour la fin de 1867 n'a eu lieu, comme on sait, qu'en novembre 1869. Complication singulière : sur ce prétendu sol de sable, où les vents devaient combler le canal avant qu'il ne fût achevé, les dragues furent arrêtées par la dureté du terrain. Ce fut dans la plaine de Suez que cette difficulté inattendue se produisit. Mais enfin, au 15 août dernier, le seuil de Chalouf était percé de part en part ; les lacs Amers reçurent à la fois les eaux de la Méditerranée et celles de la mer Rouge.

Ce remplissage des lacs Amers avait été réservé pour la clôture des opérations. Quelques personnes doutaient qu'il fût possible d'arriver jamais à remplir cette dépression dont le sol sec et poreux devait absorber d'immenses quantités d'eau avant qu'il en parût rien à la surface. On avait déjà rempli le lac Timsah, il est vrai, mais celui-ci n'avait qu'une capacité de 80 millions de mètres cubes, tandis que les lacs Amers, avec une largeur de 8 kilomètres sur 30 kilomètres de long et une profondeur de 8 à 10 mètres, pouvaient contenir 900 millions de mètres cubes. Cependant le remplissage se fit à peu près dans le délai que les ingénieurs avaient fixé.

Ce n'est pas l'un des résultats les moins curieux de la belle entreprise conduite par M. de Lesseps que la création d'une mer nouvelle au milieu de l'isthme. Y aurait-il rien d'étonnant à ce que le climat brûlant du désert environnant en fût influencé dans un sens avantageux pour la population européenne qui s'y fixera certainement à l'avenir ?

IV

Il nous reste à dire ce qu'ont coûté les travaux du percement de l'isthme de Suez et quel en sera le résultat, autant du moins que cette dernière question peut être discutée avec prudence. Le dernier rapport fait à l'assemblée générale des actionnaires éta-

blit que les recettes effectuées par la Compagnie, depuis l'époque de sa constitution, s'élèvent à plus de 451 millions de francs. Ce total se décompose en gros de la façon suivante :

Capital-actions.	200 millions.
Capital-obligations.	100
Indemnité fixée par arbitrage de l'empereur.	84
Rétrocession au gouvernement égyptien de terrains, bâtiments et droits de péage (convention de 1869). .	30
Placements de fonds temporaires. . .	19
Recettes diverses.	18
Total égal.	451 millions.

Les dépenses effectuées à la même époque s'élèvent à 404 millions, laissant ainsi une somme disponible de 47 millions pour l'achèvement des travaux. Ces dépenses se décomposent ainsi qu'il suit :

Travaux de la construction des canaux et des ports.	218 millions.
Intérêts et amortissement des actions et des obligations.	74
Dépenses de constitution et d'administration.	21
Avances aux entrepreneurs.	17
Matériel et approvisionnements. . . .	34
Divers.	40
Total égal.	404 millions.

Ce sont là de gros chiffres, et l'on conviendra qu'avec la même somme dépensée en quelque lieu du monde que ce fût, on aurait, comme à l'isthme de Suez, fécondé un désert et improvisé des villes. Toutefois il est juste d'observer, en faveur de la Compagnie du canal, qu'elle a doté l'Égypte d'une nouvelle province sans donner au monde le triste spectacle des misères qui surgissent en toute colonie nouvelle. Elle n'a ni fait la guerre ni donné

à d'autres l'occasion de la faire; au lieu de massacrer des peuplades indigènes, elle les a enrichies; au sein d'une contrée réputée à bon droit insalubre, elle a entretenu un effectif de plusieurs milliers d'hommes pendant dix ans, et elle a donné de tels soins à l'hygiène de cette nombreuse population flottante que la mortalité n'y a pas été plus forte que sur les chantiers d'Europe.

Il est probable que si le canal de Suez avait été creusé il y a cent ou deux cents ans, la société qui l'aurait entrepris serait restée maîtresse du domaine créé par ses soins. Il y aurait eu entre la Méditerranée et la mer Rouge une compagnie souveraine et privilégiée comme on en vit se former au dix-septième siècle chez toutes les nations maritimes de l'Europe, comme était jadis la Compagnie anglaise des Indes, qui disparut en 1859, ou encore comme la Compagnie de la baie d'Hudson, dernier vestige de cette organisation féodale du commerce, qui vient de s'évanouir en Angleterre. On serait tenté de croire que les fondateurs eurent, au début, cette ambition en perspective, car ils s'étaient fait attribuer par le vice-roi d'Égypte la jouissance de vastes surfaces de terrain et des priviléges presque régaliens. Il eût été curieux de voir s'établir sur la frontière commune de l'Asie et de l'Afrique une sorte de république commerçante, fatalement vouée à une politique pacifique. Mais de tels projets ne s'accordent pas avec les idées actuelles de la diplomatie. La Compagnie fut obligée de rétrocéder successivement, moyennant finances bien entendu, tous les priviléges et exemptions qu'elle avait obtenus à l'origine. Elle n'a plus d'autre objet que l'établissement, l'entretien et l'exploitation du canal, et elle est rentrée à tous égards dans le droit commun du pays où s'exerce son industrie.

Ainsi la Compagnie ne doit plus compter que sur les revenus provenant des droits de transit sur le canal. Ces droits ont été fixés à une somme de 10 francs par tonne de jauge et par passager. Ce n'est pas ici le lieu de calculer ce qu'il pourra revenir de produit brut ou net; ce n'est pas notre affaire de discuter les éléments de prospérité d'une entreprise commerciale; mais nous devons dire, avant de terminer, quelques mots sur les avantages qu'elle promet au commerce intercontinental et sur les objections les plus sérieuses qu'on lui a opposées.

Si l'on calcule la distance des principaux ports du monde à

Bombay, on trouve pour Trieste 2340 lieues marines par Suez et 5950 par le cap de Bonne-Espérance, pour Marseille 2370 et 5650, pour Bordeaux 2800 et 5650, pour Londres 3100 et 5950, pour New-York 3760 et 6200. Pour Calcutta les différences sont moins fortes ; mais à mesure que se développe le réseau des chemins de fer indiens, Bombay tend à devenir le principal entrepôt du commerce de l'Hindoustan. Pour la Chine et le Japon, les différences sont encore moins élevées, quoiqu'elles ressortent toujours à l'avantage du canal. En somme, pour les contrées qui nous entourent il s'agit de raccourcir de moitié environ la distance des ports de l'extrême Orient. Or il y a 300 millions d'habitants en Europe et 900 millions en Asie : le percement de l'isthme a la prétention de rapprocher ces immenses agglomérations d'hommes dont les relations réciproques s'accroissent de jour en jour.

A cela l'on a objecté que le commerce intercontinental se fait encore pour la plus forte partie par les navires à voiles qui redoutent de traverser des détroits ou des mers intérieures où les vents et les courants sont variables. Ce qu'il faut aux bâtiments à voiles, ce sont de larges océans, comme l'Atlantique et le Pacifique, avec des moussons et des alizés à souffle constant. Quand il s'agit de très-longs trajets, tels que ceux de Chine ou d'Australie en Europe, les bateaux à vapeur assujettis à des détours et à des relâches fréquentes et prolongées pour se procurer du charbon, ne gagnent pas énormément en vitesse sur les voiliers, et ils ont le défaut de faire payer le fret à un prix bien supérieur.

Pour les marchandises lourdes et encombrantes de faible valeur, la navigation à la voile par l'ancienne route du cap de Bonne-Espérance aurait donc toujours la préférence. Pour les passagers et les objets précieux qui exigent une grande célérité, on ne peut admettre que le passage par le canal soit plus rapide ou moins coûteux que le transit de l'Égypte en chemin de fer.

On objecte encore que la traversée de la mer Rouge est un voyage des plus pénibles. Non-seulement la chaleur y est suffocante — on y observe de fréquents cas d'insolation — mais, en outre, c'est une mer hérissée de récifs ; même à la vapeur, la navigation n'y est pas sûre, bien que plusieurs phares y aient été déjà érigés.

Il est inutile de reproduire maintenant les critiques qui s'adressaient à l'œuvre même du canal, puisque l'on annonce qu'il

est aujourd'hui achevé et en bon état. Rappelons seulement que depuis Volney, on faisait valoir l'impossibilité d'organiser de vastes chantiers dans le désert, l'ensablement par les vents, la difficulté de remplir les lacs intérieurs desséchés depuis des siècles. Il n'y a plus qu'un intérêt historique à énumérer ces objections qui ont été victorieusement réfutées avec d'énormes dépenses, il est vrai, mais enfin elles ont été réfutées.

On dit enfin que le creusement du canal est loin d'être achevé, qu'il n'a pas partout la profondeur requise, que les talus trop roides s'éboulent, qu'il lui manque des bassins de garage pour rendre le croisement des navires plus commode, que les digues de Port-Saïd devront être prolongées beaucoup plus loin en mer. Tout cela n'est qu'affaire d'argent. Personne n'a pu croire qu'après le jour de l'inauguration, il n'y aurait plus rien à faire ou à améliorer.

Au fond de toutes les critiques actuelles, étant admis que le canal s'achèvera s'il n'est encore achevé, ce qu'il y a de plus sérieux est de savoir en quelles proportions à l'avenir la marine à vapeur et la marine à voiles se partageront le commerce du monde. A prendre que les voiliers auront intérêt à préférer la route du grand Océan, on ne peut guère contester que les vapeurs choisiront au contraire la route la plus courte qui est celle de la mer Rouge, et l'on doit supposer que la Compagnie sera assez sage pour ne pas renvoyer au chemin de fer, par des tarifs exorbitants, le transit qui lui revient naturellement.

Quant à nous, qui n'avons qu'un intérêt théorique dans les questions de ce genre, il nous importe peu de savoir ce que le canal rapportera à ses actionnaires. Nous ne voyons, dans le percement de l'isthme de Suez, qu'une œuvre admirable d'énergie et de persévérance, une merveille de l'art des ingénieurs. S'il est regrettable que les promoteurs du canal aient quelquefois soutenu leurs projets avec une ardeur trop bruyante, il est juste de reconnaître que l'enthousiasme s'attache souvent à de moins bonnes causes.

H Blerzy.

II

CHEMINS DE FER.

LES FREINS A CONTRE-VAPEUR.

I

Bien que l'introduction des chemins de fer en France date de plus de trente ans, que, depuis cette époque, leur réseau sans cesse accru couvre aujourd'hui notre sol de mille ramifications, le public n'a pas encore accepté sans défiance cette nouvelle source de richesse. Quelques accidents survenus de loin en loin, répétés par tous les journaux, grossis par l'imagination crédule, suffisent à entretenir chez le plus grand nombre l'idée que les chemins de fer exposent le voyageur à toute une série de dangers. On ne réfléchit pas que si, du temps des diligences, les accidents étaient moins connus, ils n'en étaient pas moins rares, que depuis lors, le nombre des voyageurs s'est accru dans la proportion de un à cinq cents ou de un à mille, et que le nombre des accidents a été loin de suivre la même progression. On se refuse à toute discussion, et chaque malheur nouveau ne fait que confirmer une thèse préconçue.

Dans la liste des accidents possibles pour les chemins de fer, ceux qui proviennent de collisions ou de rencontres de trains sont, de beaucoup, ceux auxquels le public attache le plus d'importance, et, pour bien des gens, le remède serait pourtant simple, il suffirait de pouvoir arrêter instantanément un train, dès que le mécanicien aperçoit sur la voie un obstacle qui peut devenir un danger. Les projets ne manquent pas, d'ailleurs, pour résoudre ce problème, et c'est par centaines que, chaque année, se comptent les brevets d'invention relatifs à des freins, tous plus parfaits les uns que les autres, au moins au dire de leurs inventeurs.

armi ces projets, dont la plupart n'existent jamais que sur le papier, il en est toujours un bon nombre relatifs aux freins in-

stantanés, dans lesquels un mécanisme plus ou moins compliqué doit arrêter brusquement, ou tout au plus en quelques secondes, un train lancé à pleine vitesse. Si, au point de vue mécanique, le problème n'a rien d'impossible, il est certain qu'au point de vue pratique, sa solution offrirait plus d'inconvénients que d'avantages. Arrêter brusquement un train en marche reviendrait simplement, comme effet, au choc que l'on veut éviter. On sait, en effet, que la force vive d'un corps animé d'une certaine vitesse, autrement dit le produit de la masse en mouvement par le carré de la vitesse, représente en mécanique une certaine quantité de travail. Or, ce travail ne peut s'annuler que si on développe un travail résistant précisément égal, et ce dernier est toujours le produit de la force résistante par le chemin que parcourt son point d'application. Annuler la force vive d'un train sur un chemin très-court revient donc à opposer brusquement au train une force très-grande, en d'autres termes, produire un choc dont les résultats seraient certainement désastreux, et pour le matériel et pour les voyageurs.

Nous laisserons donc de côté, au même titre que la quadrature du cercle ou le mouvement perpétuel, les freins à arrêt instantané, pour ne nous occuper que des freins réellement pratiques, des freins à action successive. Au point de vue des dangers d'un choc ou d'un accident, ces freins seront d'autant meilleurs qu'ils permettront d'arrêter plus rapidement un train en mouvement, et l'expérience a prouvé qu'il suffirait pour l'immense majorité des cas que cet arrêt pût se produire sur une longueur de 150 mètres environ, autrement dit, qu'un frein susceptible d'arrêter complétement un train au bout de 150 mètres serait parfaitement suffisant.

Jusqu'à ces dernières années, le système des freins adoptés sur les chemins de fer différait assez peu de ceux qu'on emploie de temps immémorial sur les voitures des routes ordinaires. Une série de pièces de renvoi permet d'appliquer contre les roues des wagons des sabots en bois ou en fonte, qui viennent frotter sur la roue, et, suivant qu'on les serre plus ou moins, donnent lieu à une résistance plus ou moins considérable, qui tend à annuler la vitesse du train. Lorsque le mécanicien juge qu'il y a urgence d'arrêter rapidement, il supprime l'admission de vapeur dans les cylindres, serre les freins du tender et, d'un coup de sifflet, commande la même manœuvre aux garde-freins qui, au nom-

bre de deux ou trois, sont montés sur les wagons munis des appareils d'arrêt.

Cette solution est loin d'être satisfaisante; d'une part, elle exige le concours des gardes-freins, qui peuvent ne pas entendre ou ne pas exécuter immédiatement le signal de ralentissement, d'autre part, le serrage des freins prend, par suite des complications de la commande, un certain temps, et exige, pour que les freins portent à fond, un effort assez énergique sur la manivelle de manœuvre. Toutes ces causes réunies font qu'avec les freins à sabot il est difficile d'arrêter un train avant 7 ou 800 mètres, à partir du point où a été donné le signal d'arrêt. Si utiles que soient ces appareils, ils ne sauraient donc prémunir dans tous les cas contre un accident.

D'un autre côté, au point de vue de l'exploitation rationnelle des lignes, ce mode de freins ne donne pas lieu à de moindres objections. Par le fait même du frottement qu'ils subissent, les bandages des roues se déforment et se couvrent de facettes planes qui les mettent rapidement hors de service. D'autre part, pour les rails eux-mêmes, le frottement de glissement qui se substitue au frottement ordinaire de roulement, est une cause de détérioration importante. L'expérience prouve que, sur les lignes en pente, c'est-à-dire sur celles où on fait usage des freins sur toute la longueur pour annuler l'accélération que la gravité donnerait aux trains, la voie et les bandages durent à peine le tiers de leur service normal sur une voie de niveau.

Enfin, l'emploi des freins à sabot donne lieu à une dernière et grave objection. Quand un train est en mouvement, la vitesse qu'il possède ou sa force vive représente, comme nous l'avons déjà dit, une certaine quantité de travail accumulée au départ, et en vertu de laquelle le train abandonné à lui-même et sans dépense nouvelle de vapeur, pourrait parcourir plusieurs kilomètres avant d'arriver au repos. Lorsqu'on arrête un train à l'aide des freins à sabot, le frottement qu'on développe a précisément pour but de faire disparaître par les résistances passives une partie de cette force vive, de la transformer, soit en chaleur, soit en déformation permanente des pièces que travaillent. Il suit de là que l'emploi des freins constitue une perte réelle de travail, qu'il correspond à une dépense de vapeur et de combustible inutile à la mise en marche.

Ces divers inconvénients avaient depuis longtemps appelé l'attention des ingénieurs sur cette importante question de leur service, et, grâce aux efforts de plusieurs d'entre eux, le problème du ralentissement des trains est entré, par l'emploi de la contre-vapeur, dans une voie plus conforme aux exigences de la théorie. Ce sont ces résultats, aujourd'hui confirmés par une expérience de plusieurs années que nous nous proposons d'indiquer aux lecteurs de l'*Annuaire scientifique*.

II

Avant de décrire les différents appareils proposés dans ces dernières années comme freins à contre-vapeur, et pour en faire saisir le principe et les avantages, il est nécessaire de rappeler brièvement les conditions de fonctionnement des appareils moteurs dans les locomotives.

On sait que, dans les locomotives, la force motrice de la vapeur s'exerce sur des pistons, dont les tiges actionnent chacune des roues motrices de la machine. Un tiroir de distribution analogue à ceux des machines fixes, règle l'admission de vapeur successivement sur chacune des faces du piston, et son échappement dans l'intérieur de la cheminée, lorsque cette vapeur a produit son effet utile. Ce tiroir est commandé par des excentriques calés sur l'arbre principal, par l'intermédiaire d'une pièce spéciale, connue sous le nom de coulisse. Ce dispositif, imaginé par Stephenson, et qu'on peut citer sans crainte parmi les plus belles découvertes de la mécanique, permet, par la simple manœuvre d'un levier, de faire varier la détente de la vapeur dans les cylindres, c'est-à-dire de proportionner sa dépense à la force de traction nécessaire à chaque instant, d'arrêter la machine, et enfin de la faire marcher à volonté, soit en avant, soit en arrière[1].

Ceci posé, étudions de plus près ce qui se passe dans le cylindre moteur d'une locomotive. Nous admettons d'abord que la ma-

[1] Nous devons nous borner ici à ces simples indications, priant le lecteur qui voudrait étudier en détail les distributions dans les machines à vapeur, de se reporter au *Traité des distributions par tiroir*, du Dr Zeuner, traité dont nous avons publié récemment la traduction (Dunod, 1869).

chine marche en avant, et que la distribution fixée à un certain degré de détente agisse pour entretenir le mouvement de la machine, autrement dit, que la coulisse soit commandée par l'excentrique de marche en avant. Pour rendre les phénomènes plus sensibles, nous aurons recours au diagramme habituel. — Soit ABCD (fig. 1), le cylindre, A et C les deux orifices de passage de la vapeur, BD la course du piston. Si nous supposons que le piston marche de B en D, la vapeur admise en A exercera sur sa face

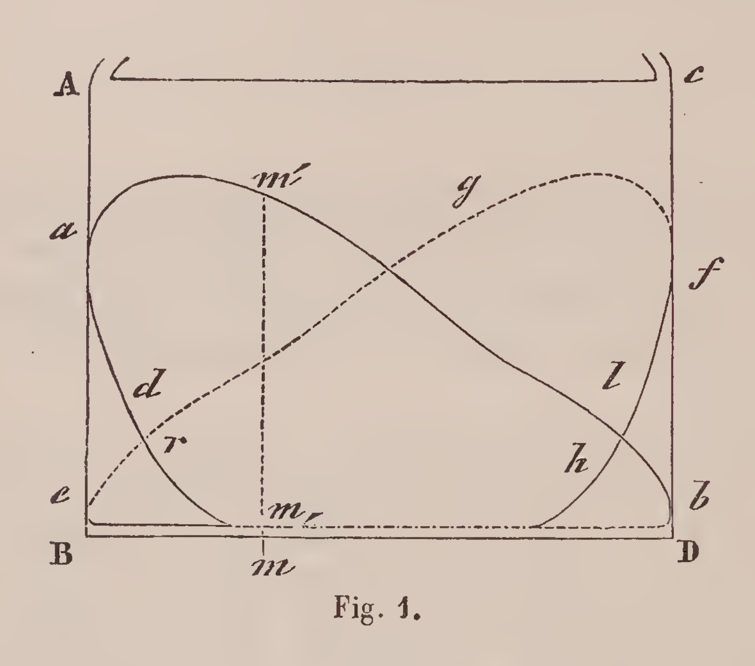


Fig. 1.

de gauche une pression, variable d'ailleurs en chaque point de la course, et que, pour une position m, nous pouvons représenter à une échelle convenable par une ordonnée mm'. La courbe $am'b$ ainsi déterminée donnera donc, pour les divers points de la course, la série des pressions de la vapeur, et l'aire $am'b$DB le travail moteur exercé par la vapeur sur la face de gauche du piston pendant son trajet de B en D. Il est d'ailleurs facile de comprendre la forme même de la courbe $am'b$. Par suite de l'avance à l'admission, quand le piston part de B, la vapeur agit déjà sur sa face de gauche, et l'orifice d'admission s'ouvrant graduellement, la pression va en augmentant. Un peu avant le point m l'orifice d'admission se forme, la vapeur travaille par détente, et sa pression diminue de plus en plus jusqu'à ce que le piston arrivant près de la fin de sa course, l'avance à l'échappement fasse tomber plus rapidement la pression. Maintenant, si nous considérons le piston dans le mouvement suivant, pendant qu'il revient de D en B, et si nous

examinons toujours ce qui se passe sur la même face de gauche, nous voyons que l'échappement restant ouvert, la vapeur n'exerce plus qu'une pression (résistante dans cette période), très-faible, représentée par la courbe $b\,m_1\,d$. Un peu avant que le piston n'arrive en B, l'échappement se ferme, et pendant une période assez courte, la vapeur se comprime, la courbe se relève en d. On voit dès lors que, si l'on considère un tour entier de la roue, la vapeur aura produit, sur la face de gauche du piston, un travail moteur représenté par la surface $a\ m'\ b\ m_1\ d$.

Mais, en même temps, sur l'autre face du piston, la vapeur produisait des effets à très-peu près symétriques. Pendant que le piston marche de D en B, les pressions de la vapeur sur la face de droite sont données par les ordonnées de la courbe $f\ g\ e$; quand il revient de B en D, l'effort résistant est exprimé par la courbe $e\ m_1\ h\ f$, et le travail de la vapeur sur cette face pendant une révolution entière par l'aire $f\ g\ e\ m_1\ h$.

La courbe $e\ m_1\ h\ f$ de la résistance à droite correspond d'ailleurs, comme temps, à la courbe $a\ m'\ b$ de l'effort moteur à gauche, de sorte qu'en réalité, quand le piston marche de B en D et revient de D en B, l'excès du travail moteur sur le travail résistant est donné par la somme des aires $a\ m'\ b\ m_1 d$ et $f\ g\ e\,m_1\,h$. On voit, en outre, qu'aux points l et r l'effort change de sens ; de moteur il devient résistant.

Supposons maintenant que, la machine marchant en avant, on *renverse* par un mouvement brusque la distribution, c'est-à-dire qu'on donne au tiroir un mouvement tel, que, si la machine partait du repos, elle irait en arrière. Par suite du mouvement en sens inverse que possèdent maintenant le piston et le tiroir, la distribution de la vapeur sera toute différente de ce qu'elle était dans le cas précédent. Ainsi que le lecteur pourra s'en assurer en traçant sur une bande de papier un tiroir mobile à la main, et observant ses diverses positions par rapport aux orifices du cylindre, pour chacun des points de la course du piston.

Dans ce cas, si nous représentons encore les phénomènes par un diagramme, et si nous supposons le piston marchant de B en D (fig. 2), nous trouvons qu'au départ l'orifice C du cylindre, d'abord légèrement ouvert, se ferme bientôt, et reste fermé pendant tout le temps qui correspondait à la détente dans le diagramme de la figure 1. Les gaz qui remplissaient le cylindre, et qui, comme

nous le verrons plus loin, étaient à peu près à la pression atmosphérique, se compriment suivant la courbe B n. Après un certain parcours, le tiroir, continuant à se mouvoir, démasque la lumière C, la vapeur de la chaudière s'introduit dans le cylindre, s'y mélange aux gaz, et, le piston continuant son mouvement, est réintroduite avec eux dans la chaudière. Lorsque le piston revient de D en B, l'orifice C est fermé, et le mélange gazeux resté

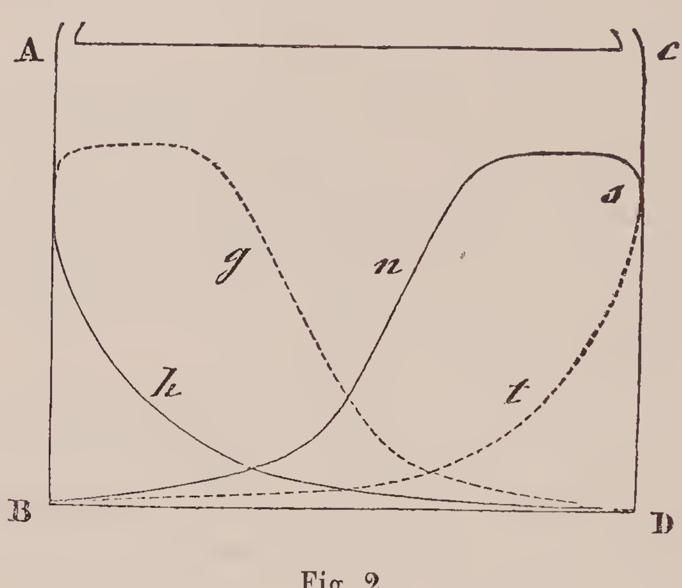


Fig. 2.

sous le piston commence à se détendre, en exerçant un travail de même sens que le mouvement du piston, par conséquent un travail moteur. Mais bientôt le bord intérieur du tiroir découvrant la lumière C, le mouvement du piston ne tarde pas à produire dans le cylindre un vide qui appelle en C les gaz de la cheminée avec laquelle cette partie du cylindre se trouve à ce moment en communication.

Il est évident d'ailleurs, que des phénomènes symétriques se produisent pendant ce temps pour l'autre face du piston et la lumière A.

On voit donc qu'à chaque tour la locomotive sera soumise avec la contre-vapeur à un travail *résistant* égal à la somme des aires B $n\,s\,t$, D $h\,g$. Ce travail représente l'aspiration dans le cylindre des gaz empruntés à la cheminée, et leur refoulement dans la chaudière à la pression même de cette enceinte.

Le renversement d'une distribution, quand la machine est en marche, constitue donc un véritable frein, de puissance considé-

rable. Ce mode de fonctionnement était depuis longtemps connu des mécaniciens, mais, sous la forme que nous venons de décrire, on n'en faisait usage que dans des cas très-exceptionnels, pour échapper à un danger imminent, car la marche à contre-vapeur présentait dans ces conditions de nombreux et redoutables inconvénients.

Ainsi que nous l'avons vu, en effet, la machine n'agit plus que comme une sorte de pompe à air ; pour chaque tour de roue elle renvoie dans la chaudière à peu près quatre fois le volume d'air que représente chaque cylindre. Au bout de quelques instants, la pression dans la chaudière s'élève donc très-rapidement, les manomètres ne fonctionnent plus, et les soupapes de sûreté devenant insuffisantes, on est exposé, soit à des explosions, soit à des écrasements de tubes.

D'un autre côté les cylindres aspirent, comme nous l'avons vu, les gaz de la cheminée, c'est-à-dire de l'air chaud, des gaz de la combustion, chargés de poussières de charbons ; ces gaz arrivent dans le cylindre à 300 ou 400°, et la compression brusque élève encore notablement leur température ; dans ces conditions, les parois du cylindre, le piston, les organes de la distribution s'échauffent outre mesure ; les frottements croissent rapidement, et, sous cette double action d'une température élevée, et de la présence de matières solides, les pièces frottantes grippent, les garnitures brûlent, la machine, en un mot, est hors de service.

Les choses en étaient là, et, si des améliorations partielles pouvaient être réalisées par certains dispositifs, comme celui de de Bergue[1], les Compagnies hésitaient à introduire dans leurs machines des modifications coûteuses ou des organes compliqués, lorsque M. Lechâtelier, ingénieur en chef des mines, alors chargé de la direction des chemins de fer du Nord de l'Espagne, eut l'heureuse idée à laquelle son nom est resté attaché.

Nous ne nous étendrons par sur l'historique de la question que nos lecteurs trouveront au besoin dans une excellente brochure par M. Lechâtelier lui-même, brochure à laquelle nous avons emprunté une partie des explications qui précèdent. M. Ricour a, d'ailleurs, publié également sur le même sujet différents mémoires insérés dans les annales des ponts. Nous ne croyons pas da-

[1] Voir l'*Annuaire scientifique* de 1867.

vantage devoir discuter ici la question de priorité soulevée par ce dernier ingénieur, et qui a donné lieu à de très-vifs et regrettables débats. Il reste aujourd'hui acquis, croyons-nous, que l'idée première du nouveau dispositif appartient à M. Lechâtelier, mais pour la réaliser il fallait de nombreux essais, des tâtonnements inévitables, qui ont successivement modifié ou complété une idée simplement en germe au début, et, dans cette dernière phase, chacun sait combien il est souvent difficile, avec la meilleure volonté du monde, de faire tant à l'inventeur qu'à ses collaborateurs la part exacte qui leur revient dans la solution définitive. Quoi qu'il en soit, le système dont nous nous occupons a gardé le nom de M. Lechâtelier, et son application à plus de 2000 locomotives en moins de deux ou trois ans, prouve l'intérêt qu'y attachent les compagnies.

L'idée de M. Lechâtelier peut, après les développements que nous avons donnés plus haut sur la marche à contre-vapeur, s'exprimer en quelques mots. Ainsi que nous l'avons vu, le plus grand inconvénient du renversement de la vapeur était l'introduction dans la machine de gaz du foyer à haute température. M. Lechâtelier songea, pour y remédier, à disposer dans la cheminée, un peu au-dessus de la buse de soufflage de l'échappement, un tuyau amenant directement la vapeur de la chaudière. Au moment où on veut renverser la vapeur, on ouvre le robinet placé sur ce tuyau ; la vapeur s'échappe dans la cheminée et y produit un double effet. D'une part, elle diminue le tirage et, en obstruant la section d'écoulement des produits gazeux de la combustion, elle prévient leur accès jusqu'aux buses d'échappement, et de là à la machine. D'autre part, elle se substitue à eux pour remplir les cylindres, et en réalité, lorsqu'on marche ensuite à contre-vapeur, c'est de la vapeur détendue qu'aspirent les cylindres, et qui fait retour à la chaudière.

Cette idée, aussi simple qu'ingénieuse, faisait disparaître en majeure partie les inconvénients de la contre-vapeur telle qu'on l'appliquait antérieurement, mais elle ne résolvait qu'en partie le problème. Avec la vapeur comme avec les gaz du foyer, quoique dans des limites plus restreintes, il se produisait encore un échauffement très-grand du cylindre et de ses organes. M. Lechâtelier songea alors à envoyer dans le tuyau d'échappement, en même temps que la vapeur, de l'eau empruntée également à la chaudière.

Cette eau arrivant à 130 ou 140° devait se vaporiser et, pour ce changement d'état, emprunter aux parois du cylindre la chaleur nécessaire. Elle constituait donc un moyen de rafraîchir constamment les organes de la machine, de contre-balancer les effets d'échauffement dus à la compression des fluides gazeux.

Cette idée s'est parfaitement vérifiée dans la pratique, et l'expérience a même démontré que l'injection de vapeur directe devenait complétement inutile, qu'une simple prise d'eau chaude débouchant à la base de l'échappement réalisait les meilleures conditions de marche à contre-vapeur.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, le système de M. Lechâtelier a été immédiatement appliqué par toutes les compagnies, et au 1er mars 1869 on comptait sur les lignes françaises 1466 locomotives munies du dispositif pour la contre-vapeur. La modification était en cours d'exécution pour 415 autres. La raison de ce succès s'explique d'ailleurs par la simplicité même du dispositif et son prix peu élevé, car, tout compris, la dépense résultant de cette modification ne ressort qu'à 600 francs environ.

Ajoutons toutefois que, pour rendre tous les services qu'on en peut attendre, l'emploi de la contre-vapeur exige un changement dans le mode de commande de la coulisse. Depuis Stephenson jusqu'à ces dernières années, pour manœuvrer la coulisse, le mécanicien agissait sur un levier de commande assujetti dans des encoches convenables. Or, au moment où l'on renverse la vapeur, où par conséquent il faut par un brusque déplacement du levier changer le sens du mouvement du tiroir, il arrive souvent, si les frottements sont durs, que le levier revient en arrière avec force et blesse le mécanicien. En tout cas, cette manœuvre, souvent dangereuse, est toujours très-pénible. M. Marié, ingénieur du chemin de fer de Lyon, a supprimé cet inconvénient en commandant le levier par l'intermédiaire d'une vis à écrou mobile, et, dans ces conditions, le danger et la fatigue du mécanicien disparaissent entièrement.

III

Si l'on compare les figures 1 et 2, et si l'on se rappelle que, d'après ce qui précède, la surface des deux courbes exprime, dans

la première, le travail moteur développé par tour de roue et par cylindre dans la marche directe ; dans la seconde, le travail résistant pour la même période dans la marche à contre-vapeur, il est clair, à première vue, que le travail résistant développé par la contre-vapeur est beaucoup plus faible que le travail moteur dans le premier cas. Il serait, d'ailleurs, facile de déterminer exactement la proportion en évaluant les aires de ces courbes, car nos figures, empruntées au mémoire de M. Lechâtelier, expriment à très-peu près la réalité des faits et ne sont autre chose que les courbes fournies par l'indicateur de Watt pour le même degré de détente successivement dans le cas de la marche directe et de la contre-vapeur. Pour de grandes admissions, on peut admettre que le travail de la contre-vapeur représente de 55 à 60 p. 0/0 du travail de la vapeur directe. Lorsque la période d'admission décroît, le rapport diminue, et, d'après M. Lechâtelier lui-même, pour une admission correspondant aux quinze centièmes de la course du piston, le travail produit par la contre-vapeur est à peu près nul ; en d'autres termes, la marche à contre-vapeur n'a plus alors d'autre avantage que de créer des frottements, et par suite des résistances qui n'existeraient pas si l'on supprimait complétement l'arrivée de la vapeur dans les cylindres et qu'on laissât la force vive du train s'épuiser d'elle-même.

En suivant de près les conditions dans lesquelles fonctionnent les organes dans le système à contre-vapeur, il est facile de comprendre qu'il ne saurait en être autrement. La vapeur n'est, en réalité, admise sous le piston que pendant une période correspondant à celle de l'admission en admettant que le piston marche en sens inverse et que la coulisse ne soit pas renversée. Plus la période d'admission en marche directe sera courte et moins aussi la contre-vapeur pourra produire d'effet utile. D'autre part, la vapeur qui, à fin de course, se trouve comprimée dans l'espace nuisible, se détend dans la marche inverse du piston et crée un travail positif dans le sens de la marche du train dont elle tend à continuer le mouvement.

Si donc le système de M. Lechâtelier doit à sa simplicité des avantages incontestables, on ne saurait le considérer comme absolument satisfaisant, et plusieurs ingénieurs, en partant du même principe, ont cherché à utiliser, dans de meilleures condi-

tions, la vapeur pour créer des forces résistantes plus considérables. Parmi les dispositifs qui paraissent le mieux répondre aux besoins de la pratique, nous citerons les systèmes de MM. Krauss et de Landsée.

Dans le frein à répression de Krauss, la distribution n'est pas renversée, le tiroir et le piston conservent le mouvement relatif qu'ils possèdent en marche normale. Lorsque le mécanicien veut marcher à contre-vapeur, il ferme le papillon ou régulateur et supprime ainsi la communication de la chaudière avec le tiroir. En ouvrant un tuyau spécial, il fait communiquer le tuyau d'échappement avec la chaudière et ferme l'orifice par lequel le tuyau d'échappement débouchait dans la cheminée. Il en résulte que, pendant toute la période d'échappement ordinaire de la vapeur, le piston, au lieu d'être soumis à la résistance de la pression atmosphérique, a à vaincre la pression de la chaudière. On comprend aisément que, dans ces conditions, la puissance retardatrice soit beaucoup plus grande que dans le dispositif de M. Lechâtelier. Toutefois, cette solution n'est pas sans inconvénient non plus, car, par suite de la pression qui se produit, tant dans le tuyau d'échappement que sous le piston, le tiroir tend à se soulever de son siége, et M. Krauss a dû, pour obvier à cet inconvénient, donner à ce tiroir une forme spéciale, de façon à équilibrer et détruire cet effet de renversement.

Dans le système de M. de Landsée il n'y a pas non plus renversement, mais sur le côté du cylindre est ménagé un second tiroir indépendant du tiroir ordinaire, conduit par un excentrique spécial dont l'angle d'avance est nul. Quand on veut ralentir, on place la distribution à la détente la plus forte, on ferme le tuyau d'échappement, et à l'aide du second tiroir on admet la vapeur sous le piston pendant la presque totalité de sa course. On comprend que, dans ce cas, comme avec le dispositif de Krauss, la résistance développée doive être très-grande, mais on ne saurait se dissimuler que la nécessité d'un tiroir auxiliaire, d'un collier et d'une tige d'excentrique nouveaux, n'introduise dans les machines une complication regrettable. Aussi, le système de M. de Landsée, malgré ses avantages théoriques, n'a-t-il eu jusqu'ici que des applications très-restreintes.

En résumé, l'étude forcément aride que nous venons de faire permet d'affirmer que, si la question de l'arrêt des trains n'est pas

encore résolue d'une manière entièrement satisfaisante, d'importants progrès ont été réalisés dans ces dernières années. Grâce aux travaux des ingénieurs que nous avons cités dans les pages qui précèdent, le mécanicien a aujourd'hui sous la main, dans toutes les locomotives, le moyen d'amortir promptement la vitesse du train qu'il dirige, de façon à prévenir le danger d'un choc ou d'une collision. L'emploi des dispositifs à contre-vapeur, joint à l'organisation de plus en plus complète des signaux, garantit que, dans l'avenir, les accidents dont se préoccupe à bon droit le public deviendront de moins en moins fréquents et surtout de moins en moins graves. Les travaux de M. Lechâtelier et de ses émules constituent donc, dans l'histoire déjà si brillante de nos chemins de fer, un point important, et à ce titre, l'*Annuaire scientifique* devait, pour rester fidèle à son programme, leur réserver, dans ses colonnes, une place spéciale.

E. Mérijot.

III

LES DISTRIBUTIONS DES EAUX DANS LES VILLES.

I

QUALITÉS ET DÉFAUTS DES EAUX.

L'eau n'est pas seulement la boisson la plus répandue; elle est aussi et surtout un élément essentiel de la salubrité publique. A l'intérieur des maisons, elle sert aux ablutions personnelles et aux lavages; répandue à profusion sur le sol des rues, elle dissout ou entraîne les immondices que l'exercice de la vie y accumule. Pour l'industrie elle est un agent universel qui produit et condense la vapeur; souvent elle se transforme d'elle-même en force motrice. Il n'y a pas un être qui puisse vivre sans eau. Les progrès de la civilisation, loin de rendre l'eau moins utile, multiplient au contraire les occasions que nous avons de nous en servir. Le paysan inculte en consomme moins que l'habitant raffiné de nos capitales modernes : le sauvage sous sa hutte et l'Arabe

sous sa tente en ont moins besoin que l'Européen civilisé.

On serait tenté de croire que l'eau est un bien répandu en abondance sur la terre et que chacun peut s'approvisionner sans peine ni souci aux réservoirs inépuisables de la nature. Il n'en est pas ainsi. D'abord il y a des contrées de quelque étendue qui ont le malheur d'en être dépourvues; et puis, il y a des eaux de mauvaise qualité qui sont une boisson malsaine et qui sont même souvent impropres aux usages domestiques. Enfin, bien que les premiers hommes aient toujours établi leurs demeures à proximité des eaux courantes et que de nos jours les grandes villes ne se développent que sur le bord des rivières, ce serait une sujétion insupportable dans l'existence affairée de notre époque que d'avoir à puiser chaque jour aux sources naturelles le liquide nécessaire aux besoins de la vie. Dans les centres importants de population, il est indispensable, on l'a reconnu, que l'eau soit distribuée à portée du consommateur. La distribution d'eaux abondantes et pures à domicile est donc un problème d'importance capitale. Nous nous proposons d'indiquer ici comment il a été résolu dans quelques-unes des plus grandes villes du monde et en particulier à Paris.

Il s'agit d'abord de savoir quelles qualités doivent présenter les eaux publiques et quels moyens on a de les expérimenter avant de s'en servir.

Les vapeurs qui s'élèvent dans l'air au-dessus des mers, des rivières et des étangs, sont, on le sait, chimiquement pures; précipitées en pluie à la surface terrestre, elles donnent encore une eau pure, sauf addition de quelques traces d'air, d'ammoniaque ou d'acide carbonique empruntées aux couches aériennes qu'elles ont traversées. Arrivée sur le sol, l'eau de pluie pénètre dans les couches inférieures ou s'écoule à la surface, suivant la nature du terrain. La portion qui s'écoule tout de suite dans les ruisseaux ne s'altère guère; mais elle donne aux rivières une allure torrenteuse, et passe si vite qu'elle est de peu de ressource. La portion qui s'enfonce dans le sol s'infiltre dans les couches sablonneuses, glisse par les fissures des terrains imperméables, chemine obliquement avec une lenteur excessive et vient enfin sourdre aux flancs des coteaux après un long parcours souterrain, pendant lequel elle a délayé ou dissout les matières empruntées aux couches traversées.

On compte que les terrains les plus communs aux environs de Paris absorbent environ un tiers de l'eau qui tombe à leur surface sous forme de pluie, et comme ils reçoivent en moyenne 60 centimètres de pluie par an, il s'ensuit que chaque hectare superficiel cache une masse d'eau souterraine de 2,000 mètres cubes ou à peu près. C'est cette masse qui alimente les sources toute l'année et leur assure un débit journalier, bien que la pluie soit intermittente.

Les eaux qui reparaissent au jour après avoir circulé sous terre sont plus ou moins chargées de substances étrangères. Tantôt elles sont devenues minérales ou sulfureuses, et ont acquis par là des propriétés médicinales ; tantôt elles paraissent tout à fait saumâtres, et ne peuvent plus être employées par l'homme.

Le plus souvent, elles ne retiennent en dissolution que des sels terreux (carbonates ou sulfates de chaux et de magnésie, qui ne leur donnent ni odeur ni saveur et leur communiquent seulement un goût agréable. Quand ces sels sont en excès, ils se précipitent peu à peu ; on dit alors que l'eau est incrustante, ce qui est un grave défaut, non-seulement parce que l'eau qui a ce défaut, encrasse les tuyaux dans lesquels elle coule, mais aussi parce qu'elle est alors indigeste, impropre aux savonnages et qu'elle ne convient même pas à la plupart des industries. Les chaudières à vapeur, par exemple, qu'on alimente avec de l'eau incrustante se recouvrent à l'intérieur d'une couche calcaire qui est fréquemment une cause d'explosions.

L'eau qui court à l'air libre dans un ruisseau ou dans le lit d'une rivière, acquiert parfois de nouveaux défauts; elle se charge de boue et de limon pendant les crues, elle prend un goût nauséeux au contact des marais tourbeux, elle s'altère par l'effet des matières végétales ou animales qui y tombent par hasard ou que les hommes et les animaux y rejettent. Cette dernière cause d'impureté est surtout à craindre en aval des grandes villes et des centres industriels. Si nous ajoutons que l'eau des rivières est trop froide en hiver et trop chaude en été, on s'expliquera que les villes qui établissent des aqueducs préfèrent en général, sauf l'influence que les circonstances locales peuvent avoir sur leur détermination, dériver des sources d'eaux vives plutôt que de puiser dans les fleuves ou les rivières.

Depuis les eaux vives et claires qui jaillissent entre les roches

des terrains primitifs jusqu'aux eaux épaisses et bourbeuses que certains fleuves déversent dans l'océan, il y a tous les degrés intermédiaires. Quelles sont celles qui conviennent le mieux : 1° à la boisson, 2° aux usages domestiques, 3° au nettoiement des villes, et 4° à l'arrosage des jardins ou des prairies ?

Une eau est potable lorsqu'elle est limpide, dépourvue d'odeur, qu'elle est à une température modérée en toutes saisons et qu'elle a une saveur franche et agréable. L'air et l'acide carbonique en dissolution favorisent la digestion ; il en est de même des carbonates terreux, pourvu qu'ils ne soient pas en excès. Au contraire, une eau trop pure est fade au palais et pesante à l'estomac. Lorsque les marins se procurent de l'eau distillée, à défaut d'autre, soit au moyen d'appareils distillatoires, soit, dans les mers polaires, en faisant fondre de la glace, ils ont soin de l'agiter à l'air avant de la boire. Quand l'eau est séléniteuse [1], c'est-à-dire surchargée de sels, on dit qu'elle est dure, crue, et on la trouve aussi indigeste. Naturellement l'eau stagnante doit être redoutée, car elle est souvent corrompue; l'eau des fleuves est parfois infectée par les riverains et a l'inconvénient de subir les vicissitudes des la saison ; l'eau des puits est altérée par des infiltrations malsaines plus souvent qu'on ne pense, surtout au voisinage des habitations. C'est donc en définitive aux sources qu'il faut donner la préférence pour la boisson, pourvu que la quantité des matières dissoutes soit à un degré convenable.

Pour les usages domestiques, ce qui s'entend non-seulement des ablutions personnelles, mais encore du blanchissage et du nettoiement de l'habitation, la température importe peu ; mais il faut que l'eau soit propre, c'est-à-dire dépourvue de limon et de substances organiques putrescibles. Pour le savonnage, il faut en outre qu'elle contienne les sels calcaires et magnésiens à faible dose, car ces sels, mis en présence d'une dissolution de savon, donnent un précipité caillebotté, et tout le savon consommé dans cette réaction est perdu pour le nettoyage.

Quant au nettoiement des villes, ce qui comprend l'arrosement des rues et des plantations, le lavage des égouts et des abattoirs, il est clair que la composition chimique de l'eau est indifférente ;

[1] Le gypse ou sulfate de chaux s'appelait sélénite dans l'ancienne nomenclature chimique.

il suffit que le liquide employé ne dégage aucun gaz malfaisant, qu'il n'ait pas de mauvaise odeur. Enfin pour arroser des jardins ou des prairies, on préférera des eaux limoneuses, et même si elles sont chargées de détritus organiques, elles colmateront avantageusement la surface irriguée.

Comment reconnaître si l'eau que fournit une certaine rivière ou une certaine source, a les qualités requises pour l'alimentation d'une ville? Une analyse chimique bien complète est une opération longue et délicate que tout le monde ne peut pas faire. Il y a des procédés plus simples qui fournissent des résultats d'une exactitude suffisante. Les substances étrangères dont la présence influe sur la qualité de l'eau sont organiques ou inorganiques ; ce sont des résidus de plantes ou d'animaux que la mort décompose, ou bien des sels empruntés aux terrains que la source a traversés. L'odorat et la vue donneront d'abord des indications utiles ; si le liquide est louche ou colorée, s'il décèle la plus légère odeur, on doit le rejeter sans hésitation ou tout au moins il ne convient que pour les usages médicinaux. On peut aussi faire passer sur le porte-objet d'un microscope une goutte de l'eau soumise à l'essai. Si pure qu'elle paraisse à l'œil nu, on y découvrira toujours des myriades d'embryons ; l'eau distillée en recèle elle-même ; mais pour peu que ces embryons aient une analogie de formes avec ceux que l'on voit dans l'eau d'un égout soumise à la même épreuve, il faudra la considérer comme suspecte. Enfin, si l'eau mise en dépôt dans un flacon bouché manifeste au bout de quinze à vingt jours la moindre saveur putride, on la notera encore comme étant de mauvaise qualité.

Voilà pour les substances organisées ; quant aux sels terreux, MM. Boutron et Boudet ont inventé une méthode d'essai fort ingénieuse dont le plus ignorant peut apprendre l'usage en un quart d'heure ; c'est l'hydrotimètre. Nous avons dit plus haut que le savon donne avec les sels terreux un précipité caillebotté. Le savon rend l'eau pure mousseuse ; mais dans une eau chargée de sels à base de chaux ou de magnésie, la mousse n'apparaît que lorsque ces sels ont été décomposés et neutralisés par une quantité convenable de savon. La quantité de solution savonneuse nécessaire pour produire la mousse, donne donc la mesure de la dureté de l'eau soumise à l'essai. La formation de la mousse est un phénomène si saillant, il faut un si léger excès de savon pour la

faire apparaître que la méthode a toute la sensibilité nécessaire.

MM. Boutron et Boudet emploient le savon à l'état de dissolution alcoolique titrée. 40 grammes de l'eau soumise à l'épreuve sont mis dans un flacon, et l'on y verse goutte à goutte la liqueur titrée au moyen d'une burette divisée, en agitant de temps en temps, jusqu'à ce que la mousse apparaisse. Chaque division de la burette correspond à 100 grammes de savons neutralisés par mètre cube. Ainsi une eau qui marque 40°, lorsqu'on l'emploie au blanchissage, consomme en pure perte 4 kilogrammes de savon par mètre cube.

L'hydrotimètre a servi déjà à d'innombrables expériences et a mis en évidence les résultats les plus divers. Ainsi, on rencontre quelques sources qui ne marquent que 1°; la fontaine Maubuée à Paris atteint 76°; la Loire titre 6°; la Garonne, 11°; la Seine, le Rhône, la Saône, 15 à 20°; la Marne 23°; le Tibre, 29°; l'eau de Belleville, 128° [1].

Quand une eau marque plus de 18°, elle incruste ses tuyaux de conduite et forme d'épais dépôts calcaires à l'intérieur des chaudières à vapeur; elle devient dure et malsaine, et cesse d'être agréable au goût. Alors on s'est dit que les sources à capter pour l'alimentation d'une ville ne devaient guère, s'il était possible, être choisies que dans cette limite ou à peu près.

Il reste à dire par quels chiffres se mesure la consommation d'une ville. Il y a peu d'années, 130 à 150 litres par jour et par habitant, semblaient une moyenne très-satisfaisante. Cela comprend bien entendu, la consommation privée pour les usages personnels, pour le blanchissage, pour les animaux et pour l'arrosement des jardins, aussi bien que la consommation publique pour le lavage des rues et des égouts. Londres est alimenté en ce moment à raison de 136 litres, et à Paris la moyenne est à peu près la même. Il y a toutefois cette différence qu'à Paris, la plus forte part est consacrée aux services publics de la voirie, tandis qu'à Londres ce sont les besoins des individus et des usines qui absorbent presque tout. Glasgow donne 200 litres par jour à chacun de ses habitants; Philadelphie en donne 250; New-York, 400 pendant la saison des chaleurs; Rome, 1000; et enfin Washington qui

[1] L'évaporation à sec d'une petite quantité d'eau, et la pesée du résidu, donnent aussi aisément et plus exactement que l'hydrotimètre la quantité des substances solides que les eaux renferment en dissolution.

dépasse tout ce que l'on a vu ailleurs reçoit 300,000 mètres cubes par vingt-quatre heures pour une population de 70,000 âmes, soit l'énorme quantité de 4,300 litres par tête. C'est assurément la ville la mieux pourvue de l'univers.

II

LES EAUX DE PARIS.

Aux premiers siècles de l'ère chrétienne, Paris eut déjà des eaux de sources. L'empereur Julien éprouvait, comme tous les Romains, une vive répugnance pour les eaux de rivières. Il fit construire un aqueduc pour amener les sources d'Arcueil à son palais des Thermes. C'est le plus ancien ouvrage hydraulique dont il y ait trace auprès de Paris. L'eau de cette source est au reste assez médiocre, car elle est incrustante et marque 28° à l'hydrotimètre. Au moyen âge, on amena en ville les sources de Belleville et des Prés-Saint-Gervais qui sont encore bien pires. Le peuple de cette époque se servait problablement de puits[1] ou puisait directement dans le fleuve l'eau dont il avait besoin. Plus tard on installa des pompes à moteur hydraulique sur la Seine. Puis enfin Napoléon Ier fit exécuter le canal de l'Ourcq, canal de navigation et d'irrigation, qui déversait un gros volume d'eau d'assez faible qualité à un niveau bien supérieur à celui de la Seine. Enfin de puissantes pompes à feu, installées à Chaillot, refoulèrent l'eau du fleuve dans les quartiers élevés ; mais la prise d'eau de ces pompes était placée en aval de la ville, et par conséquent dans un endroit où le fleuve était contaminé par les déjections de la cité.

[1] Dans le travail qu'il a publiée en 1853 (*Ann. de chim. et de phys.*, t. XXXIX) sur la recherche de l'ammoniaque dans les eaux, M. Boussingault a constaté dans trois puits de Paris, 0g,033, 0g,034, 0g,030 d'ammoniaque par litre ; cette quantité relativement considérable démontre clairement que ces eaux de puits recevaient des infiltrations de fosses d'aisance. Si on se rappelle (Voy. *Annuaire de* 1866, p. 305) que le choléra se transmet par les déjections des cholériques, on reconnaîtra que l'usage des eaux des puits comme boisson doit être absolument proscrit, il serait également utile d'interdire l'emploi de ces eaux dans la fabrication du pain.

En 1854, lorsque la question fut mise à l'étude, Paris recevait chaque jour 148,000 mètres cubes, dont 104,000 amenés par le canal de l'Ourcq, 1,000 puisés dans la Seine au moyen de machines à vapeur et le reste fourni par le puits de Grenelle, l'aqueduc d'Arcueil et diverses sources. Toutes ces eaux étaient mauvaises pour la boisson[1]; la quantité faisait d'ailleurs défaut, car les tuyaux de distribution étaient insuffisants, et la moyenne quotidienne n'atteignait pas 100 litres par tête. Il était indispensable de remédier aux vices d'une situation si défavorable ; mais les Parisiens, habitués à cette alimentation défectueuse, n'en sentaient pas tous les inconvénients. Les questions relatives à l'approvisionnement des villes étaient d'ailleurs encore assez obscures, si bien que les projets émis à cette époque par l'administration municipale furent combattus par beaucop de gens avec plus d'opiniâtreté que de raison. Il serait inutile de raconter les incidents de ces longues discussions, aujourd'hui oubliées. Il vaut mieux décrire les ouvrages qui ont été exécutés.

Quelques personnes croyaient suffisant de percer un grand nombre de puits artésiens sur les points culminants de la capitale; mais le forage des puits très-profonds est soumis à de sérieuses incertitudes ; quand il y en a plusieurs dans un espace restreint, leur débit diminue ; enfin ils donnent une eau tiède, impropre à la boisson, quoique très-pure, et en définitive peu abondante. Cette idée ne méritait pas d'arrêter un instant l'attention.

D'autres demandaient que l'on multipliât les pompes établies sur la Seine, en les faisant mouvoir soit par des roues hydrauliques, soit par des machines à vapeur ; mais si l'eau de Seine convient à merveille aux usages publics, nous avons dit plus haut quels inconvénients présente en général l'eau des rivières pour la consommation domestique.

Des ingénieurs proposèrent de dériver sur Paris une partie du cours de la Loire, en en profitant pour irriguer les plaines élevées de la Beauce. C'eût été pour la rive gauche ce que le canal de

[1] L'eau du puits de Grenelle a été étudié par M. Peligot. (*Ann. de chim. et de phys.*, 1857, t. LI.) Elle ne donne que 0g,142 de matière solide par litre, mais à son arrivée au sommet de la colonne de Grenelle, elle ne renferme en dissolution que de l'acide carbonique et de l'azote, et pas une trace d'oxygène; elle se charge bientôt au reste de ce gaz en séjournant à l'air.

l'Ourcq est pour la rive droite. Seulement la dépense d'établissement était très-considérable, et d'ailleurs les objections contre l'alimentation en eaux de rivière n'étaient pas écartées.

Restaient les eaux des sources. Où les trouver assez pures et assez abondantes? La nature géologique des terrains guidait par avance les recherches des ingénieurs qui devaient être circonscrites au bassin hydrographique de la Seine pour éviter les travaux d'aqueduc trop onéreux qu'eût exigés le captage des sources d'un autre bassin. Aux environs de Paris, règne le terrain tertiaire riche en gypse et en marnes : les eaux y sont séléniteuses à un haut degré. Au delà apparaît la craie qui affleure sur presque toute l'étendue de l'ancienne province de Champagne, et au delà encore se montrent les calcaires jurassiques qui forment les limites du bassin.

Les sources du calcaire jurassique marquent à l'hydrotimètre de 17 à 24°, ce qui les classe parmi celles de bonne qualité ; en outre elles sourdent à une grande élévation au-dessus du niveau de la mer, en sorte qu'il serait aisé de les faire dériver sur Paris dans un lit artificiel. Mais elles sont à 200 ou 300 kilomètres de la capitale ; la construction de l'aqueduc exigerait des dépenses exorbitantes. Les sources de la craie, plus rapprochées, ne sont pas inférieures sous le rapport de la qualité ; quoiqu'elles se montrent à une altitude moindre, leur point de départ est encore assez élevé pour qu'elles arrivent avec une pente suffisante sur les points culminants de Paris.

Les premières sources que la ville de Paris emprunta à la Champagne, furent celles de la Dhuys, petite rivière qui se jette dans la Marne, à peu de distance de Château-Thierry. L'eau arrive par un aqueduc de 130 kilomètres de long, à raison de 50,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. Cet aqueduc est un canal souterrain de section ovoïde, de $1^{m},76$ de haut et de $1^{m},40$ de large, avec une pente uniforme de 10 centimètres par kilomètre. Il est construit en maçonnerie de meulière brute de 20 centimètres d'épaisseur, y compris l'enduit intérieur en ciment. Des regards sont espacés de 500 en 500 mètres. A la traverse des vallées où les Romains plaçaient en pareil cas des arcades monumentales, les ingénieurs de la ville ont employé des siphons de 1 mètre de diamètre ; c'est plus économique. La dépense totale de ce bel ouvrage paraît s'élever à 18 ou 20 millions, ce qui fait

revenir le prix du mètre cube d'eau à 5 centimes environ.

L'aqueduc de la Dhuys aboutit à Ménilmontant, sur la rive droite de la Seine. Le débit de cet aqueduc ne suffisant pas pour assurer l'alimentation de Paris, on entreprit peu après d'en construire un autre pour amener à Montrouge, sur la rive gauche, les eaux de la Vanne, petite rivière claire et limpide qui sort du département de l'Aube à la limite des terrains crayeux de la Champagne et se perd dans l'Yonne en amont de Sens. Ce nouvel aqueduc aura 175 kilomètres de long, coûtera 50 millions et amènera 100,000 mètres cubes par jour.

Si les eaux de sources sont nécessaires pour la consommation privée, les eaux de rivière suffisent parfaitement pour les usages publics; aussi, en même temps que l'on exécutait ces aqueducs, on cherchait à tirer meilleur parti des ressources que la Marne et la Seine peuvent fournir. Des turbines, établies à Saint-Maur, sur la chute que produit un barrage de la Marne, font mouvoir des pompes qui puisent 40,000 mètres cubes par jour dans cette rivière; cette eau ne revient qu'à 2 1/2 centimes le mètre cube. Une autre usine installée à Paris même, au pont d'Austerliz, en 1864, contient des pompes actionnées par deux machines à vapeur de 120 chevaux chacune. Elles peuvent donner 22,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. Une autre usine à vapeur sur le quai de Billy fournit aussi quelques milliers de mètres cubes.

Prochainement, lorsque tous ces travaux seront achevés, Paris recevra 350,000 mètres cubes par jour, ce qui fera bien près de 200 litres par habitant. On prévoit au reste que ce volume colossal ne suffira pas aux besoins de l'avenir. D'autres projets sont à l'étude, en particulier le canal de dérivation de la Loire qui fournirait aisément trois à quatre fois plus d'eau que le canal de l'Ourcq. Que si la population manifestait une préférence marquée — et elle aurait raison — pour les eaux de sources, on pourrait encore aller chercher les sources des terrains jurassiques auxquelles on n'a pas encore eu recours, quoiqu'elles soient à tous égards, sauf la question de dépense, préférables à celles de la Champagne.

Ce n'est pas tout que d'amener l'eau à Paris. Il faut encore l'y distribuer. Ce qu'amènent les diverses sources d'alimentation, canal, aqueducs, usines, puis artésiens, se déverse en 5 ou 6 réservoirs d'immense capacité, construits sur les points culminants de

la ville. Celui de Ménilmontant, à l'extrémité aval de l'aqueduc de la Dhuys, est à 80 mètres au-dessus du niveau de la Seine. Il reçoit dans un premier bassin 31,000 mètres cubes que lui envoie l'usine hydraulique de Saint-Maur, et dans un second bassin, sans communication avec le premier, 100,000 mètres cubes de la Dhuys, c'est-à-dire ce que l'aqueduc fournit en deux jours et demi, de telle sorte que l'écoulement peut être interrompu dans cette longue conduite souterraine sans que le service en souffre. Le réservoir de Ménilmontant est assez élevé pour alimenter les quartiers les plus hauts de la rive droite. De même, à Montrouge un réservoir de vaste capacité recevra les eaux de la Vanne ; un autre à Passy, à 50 mètres au-dessus de la Seine, reçoit 37,000 mètres cubes refoulés par les machines élévatoires du quai de Billy, et dans un second compartiment, le produit du puits artésien de Passy que l'on attribue, en raison de sa nature, à l'arrosage du bois de Boulogne. D'autres réservoirs existent encore à Belleville et à Gentilly. Chacun d'eux est rempli par deux sources distinctes afin d'éviter les chances d'accident ; mais la séparation entre les eaux de sources et celles de rivières est rigoureusement maintenue dans tous les cas.

De chaque réservoir partent des conduites de distribution de 50 centimètres à 1 mètre de diamètre selon l'étendue des quartiers qu'elles desservent ; sur ces conduites maîtresses s'embranchent d'autres plus petites enfouies sous chaque voie publique et dont se détachent les tuyaux d'alimentation des maisons, des fontaines publiques, des bornes-fontaines et des bouches sous-trottoirs. Dans chaque rue, passent deux conduites de distribution, l'une d'eau de source et l'autre d'eau de rivière ; la première pour les concessions privées et la seconde pour les services publics d'arrosage. Les tuyaux sont constamment en charge, chacun peut y puiser quand il lui plaît.

Les propriétaires des maisons desservies par un tuyau d'alimentation, payent par abonnement une redevance à la ville ; le prix en est fixé à forfait en admettant une consommation de 45 litres par habitant, 5 litres par mètre de cour ou de jardin, 100 litres par cheval et autant par voiture. En certains pays, l'eau consommée est mesurée au compteur, comme pour le gaz d'éclairage. Ce système, séduisant en théorie, n'a guère eu de succès en France : le compteur est un instrument assez délicat, suscep-

tible de dérangement, qui coûte cher d'acquisition et qui exige un contrôle fréquent. L'abonnement à forfait est une solution plus pratique et dont les abus de la part du consommateur sont au fond de médiocre conséquence.

En résumé, la ville de Paris a, depuis quinze ans, dépensé des sommes énormes pour s'alimenter en eaux de bonne qualité, pour leur creuser des réservoirs et les distribuer dans toutes ses rues, jusqu'au seuil de toutes les maisons ; et cependant, avec 140,000 mètres cubes par jour d'eau de source, et plus de 200,000 mètres cubes d'eau de rivière, elle ne sera encore pourvue que dans la mesure des besoins du moment. Si la population continue de s'accroître, comme elle l'a fait depuis la création des chemins de fer, de nouveaux travaux deviendront nécessaires. Nous savons, en effet, que la plupart des capitales de l'Europe et de l'Amérique sont plus amplement pourvues, ou du moins ont adopté, dans les projets qu'elles préparent ou qu'elles exécutent, un coefficient plus élevé par tête d'habitant.

III

LES EAUX DES GRANDES VILLES DE LA PROVINCE ET DE L'ÉTRANGER.

Rome a conservé depuis bien des siècles le privilége inestimable d'une abondante distribution d'eau. Ce fut en l'an 441 de la fondation de la ville que le consul Appius Claudius conçut et exécuta le projet de réunir les sources éparses sur la montagne de Frascati et de les amener par un aqueduc. D'autres dérivations furent établies successivement, à mesure que la population croissait en nombre et en besoins. Il existait à la fin du premier siècle de l'ère chrétienne neuf aqueducs qui tous ensemble conduisaient chaque jour 1,500,000 mètres cubes sur les sept collines, soit à peu près autant que la Marne en verse dans la Seine en temps ordinaire. Les eaux, après s'être clarifiées en de gigantesques réservoirs, étaient réparties entre les fontaines monumentales, les thermes, les camps, les maisons d'habitation, les jardins, les égouts et les voies publiques. Les Goths détruisirent ces ouvrages admirables en l'an 537, et les Romains n'eurent plus à

boire, comme aux premières années de la fondation, que les eaux jaunes et limoneuses du Tibre. Les papes Sixte-Quint et Paul V rétablirent quelques-uns des anciens aqueducs. Rome reçoit maintenant 200,000 mètres cubes par jour pour une population qui ne dépasse guère 200,000 habitants. Ce serait encore magnifique, si ces eaux étaient aussi bonnes qu'elles sont abondantes. Par malheur elles marquent un degré hydrotimétrique fort élevé.

Les Romains recherchaient toujours les eaux de sources ; de notre temps, plusieurs villes ont préféré les eaux de rivière. A Lyon, c'est le Rhône qui fournit les eaux dont la population a besoin. On les fait passer d'abord en d'immenses *bassins* où elles déposent une partie des matières qu'elles tiennent en suspension; puis elles sont refoulées dans un réservoir supérieur, d'où partent les tuyaux de distribution, par des machines à vapeur de grande puissance. La consommation habituelle donne une moyenne quotidienne de 100 litres par tête. Le prix de revient est faible, en raison du bas prix du charbon à Lyon ; il n'est que de 2 centimes par mètre cube. Il n'y a pas lieu, paraît-il, d'être satisfait de cette organisation qui ne produit qu'un liquide louche, malgré les moyens de filtrage employés, et d'une température telle en été, qu'on ne peut le boire sans l'avoir rafraîchi.

Marseille était jadis insuffisamment alimentée par des puits et quelques sources du voisinage ; le territoire environnant, brûlé par le soleil, restait stérile et nu ; les bassins du port, dont l'eau jamais renouvelée, recevait les déjections de la ville, exhalaient des odeurs insupportables. De 1840 à 1846, on exécuta entre la Durance et Marseille un canal de 87 kilomètres de long qui débite 10 mètres cubes par seconde, soit près de 900,000 par jour. Par malheur la Durance est une rivière torrentueuse qui charrie en tout temps, mais surtout au moment des crues, une énorme quantité de boue ; chaque mètre cube d'eau contient presque 1 litre de limon. Le liquide que fournit le canal convient à merveille au colmatage des terrains stériles de la banlieue que les irrigations transforment en jardins et en prairies ; il est impropre aux usages domestiques et n'est pas mieux employé, sans inconvénient, au nettoyage des rues. On essaye de décanter cette eau en la faisant séjourner dans des réservoirs d'une vaste superficie. Ce procédé d'épuration ne réussit qu'à moitié, d'autant plus que les

bassins sont promptement remplis par les 7 à 800 mètres de limon qui s'y déposent chaque jour.

A Toulouse, nous trouvons encore des eaux de rivière, mais soumises à un ingénieux procédé de filtration, qui fait honneur à l'ingénieur de la ville, M. d'Aubuisson. Il existe un épais banc de sable dans le lit de la Garonne. On a creusé dans ces alluvions une longue galerie souterraine, dont le niveau est inférieur à l'étiage et dont les parois sont perméables. L'eau y arrive après avoir filtré à travers les graviers qui la débarrassent de ses impuretés. C'est dans cette galerie que plongent les extrémités inférieures des tuyaux d'aspiration des pompes. Ce mode de clarification a été imité à Lyon et à Vienne (Autriche) avec moins de succès. Quand il s'agit de vastes quantités d'eau, les galeries filtrantes exigent une étendue démesurée.

Après ce que nous avons dit et montré des inconvénients de l'eau de rivière, croirait-on que Londres, une métropole de 3 millions d'habitants, n'est encore alimentée que par la Tamise et par un de ses affluents, la rivière Lea. L'élévation, le filtrage et la distribution des eaux sont l'œuvre de huit compagnies industrielles qui ont dépensé 100 millions depuis 20 ans, pour améliorer leur installation et qui disposent aujourd'hui d'une force motrice de 11,000 chevaux-vapeur. La consommation de chaque jour est de 500,000 mètres cubes, sauf le dimanche où la distribution est suspendue. En semaine, le service se fait successivement dans chaque quartier, pendant deux heures sur vingt-quatre. Chaque maison profite de ce temps pour remplir son réservoir et faire sa provision jusqu'au lendemain, ou même jusqu'au surlendemain si c'est un samedi. Au reste le service privé absorbe tout l'approvisionnement de la ville ; il n'y a presque rien pour les fontaines, ni pour le lavage des voies publiques [1].

Cette organisation ne satisfait nullement les habitants de Londres. L'intermittence du service est un sérieux inconvénient, surtout dans les quartiers pauvres où la prévoyance fait souvent défaut. L'eau de la Tamise est polluée par les déjections que produit une telle masse de population, et que le mouvement de la marée fait refluer d'aval en amont. D'ailleurs le fleuve ne débite

[1] Voyez dans la *Revue des cours scientifiques*, p. 34, t. VI, une importante leçon de M. Frankland sur les eaux de Londres.

à l'étiage que 1,800,000 mètres cubes par jour à Hampton, où les pompes sont établies : ce qu'on lui enlève pour arroser Londres, crée des obstacles à la navigation.

Un ingénieur, M. Bateman, qui s'est fait connaître par des travaux d'aqueduc fort remarquables, propose de conduire à Londres des sources situées sur le versant oriental du pays de Galles, au pied des monts Caderidris et Plyulimmon. On barrerait des vallées, au moyen de digues transversales, pour en faire de gigantesques réservoirs, l'aqueduc partirait d'une grande hauteur au-dessus de la mer et arriverait à un niveau tel, que la distribution se fît jusqu'au sommet des maisons par le seul fait de la pesanteur. C'est à peu près comme si l'on proposait d'amener à Paris les sources de la chaîne des Vosges. Ce beau projet fournirait 1 million de mètres cubes par jour et coûterait 250 millions de francs.

C'est déjà M. Bateman qui a construit l'aqueduc du lac Kahine à Glasgow. Cette ville, qui ne compte pas moins de 485,000 habitants, était arrosée par les eaux de la Clyde que des machines refoulaient dans des réservoirs. Mais les eaux du fleuve devenaient de moins en moins pures à mesure que l'industrie prenait plus d'extension sur ses bords. Le corps municipal résolut de remplacer ce mode pernicieux d'alimentation par une dérivation d'eau provenant des lacs situés à 40 kilomètres de là dans les montagnes. L'aqueduc en maçonnerie présente une section intérieure de 2^{m},40 de haut sur 2^{m}40 de large avec une pente de 16 centimètres par kilomètre. Sur 6 kilomètres, la conduite est en siphons formés par des tuyaux de fonte de 1^{m},20 de diamètre. L'ensemble de l'ouvrage a coûté 23 millions, plus 17 millions d'indemnité payés aux compagnies qui avaient le monopole de l'alimentation de Glasgow. La dérivation fournit 87,000 mètres cubes par jour, ce qui met à 63 centimes le prix du mètre cube.

Une solution du même genre a été adoptée en France par la ville de Saint-Étienne. A près de 20 kilomètres de cette ville, la vallée du Furens a été barrée par une digue en maçonnerie de 50 mètres de haut. Comme la vallée n'est en cet endroit qu'un étroit défilé, la longueur du barrage à son sommet est de 100 mètres seulement. L'exécution de ce travail n'avait pas seulement pour but d'assurer à la ville une alimentation d'eau régulière, mais encore de la préserver contre les inondations. A cet effet, le

réservoir qui a une capacité de 1,600,000 mètres cubes, n'est jamais rempli qu'aux trois quarts au plus, l'excédant restant disponible pour emmagasiner la portion dommageable d'une crue imprévue. Le débit minimum est de 17,000 mètres cubes par jour, quantité suffisante pour 100,000 habitants. En même temps le réservoir donne au cours inférieur du Furens un régime régulier au grand avantage des usines situées sur ses bords. La dépense totale a été de 4 millions.

Ce n'est pas en France seulement que les grandes villes se sont signalées par de larges distributions d'eau ; nous pouvons en citer d'autres exemples à l'étranger. Madrid, située sous un climat chaud et sec, manquait d'eau ; sa banlieue restait stérile faute de sources ; on vient d'achever un magnifique ouvrage qui procure aux 320,000 habitants de cette capitale, les bienfaits d'abondantes irrigations. Au moyen d'un barrage, on a transformé la partie supérieure de la vallée du Rio de Lozoya en un réservoir de 3 millions de mètres cubes. De là, un aqueduc de 76 kilomètres amène l'eau à 111 mètres au-dessus du niveau du Manzanarès. La section est de $2^{m},15$ sur $2^{m},80$, avec une pente de 20 centimètres par kilomètre. Dans les parties ouvertes en souterrain, la pente atteint 67 centimètres ; on a pu ainsi diminuer la section sans diminuer le débit. Sur le parcours plusieurs ponts-aqueducs dont un mesure 120 mètres de long sur 28 mètres de haut. Les grandes vallées sont franchies à l'aide de siphons. Cet ouvrage amène à Madrid 200,000 mètres cubes par jour dont un cinquième seulement est réservé pour l'usage de la ville, le reste étant affecté aux irrigations de la banlieue. Il a coûté 41 millions de francs, soit un peu moins de 3 centimes par mètre cube d'eau, ce qui est un prix de revient très-faible dans une contrée déserte, privée de voies de communication, où les constructeurs rencontraient plus de difficultés qu'en tout autre pays.

Les États barbaresques eux-mêmes s'occupent maintenant de grands travaux de ce genre. Carthage possédait jadis un aqueduc construit par les empereurs romains Adrien et Septime Sévère, coupé par les Vandales, réparé par Bélisaire, détruit de nouveau par les Arabes ou plutôt peut-être par d'autres conquérants étrangers, car les Arabes peu soucieux par nature des œuvres en maçonnerie, n'ont pas plus l'habitude de détruire les monuments que de les construire. Cet aqueduc vient d'être rétabli sous la

direction d'un ingénieur français par les ordres du bey de Tunis. Il mesure en longueur 130 kilomètres depuis les monts Zaghouan jusqu'au port de la Goulette. L'approvisionnement qu'il donne est d'environ 20,000 mètres cubes pour une population de 300,000 âmes.

C'est aux États-Unis qu'il faut aller pour voir traiter les distributions d'eau avec une ampleur dont on n'a encore nulle idée en Europe. Chicago, ville de 230,000 habitants, dont la prospérité récente promet de s'accroître encore, est située sur le bord du lac Michigan. Elle y puisait au moyen de machines à vapeur l'eau nécessaire à ses besoins ; mais cette eau était infectée par de larges dépôts de vase que les déjections de la ville accumulaient sur les rives. On a remédié au mal en établissant la prise d'eau à 4 kilomètres au large. A cet effet, une colonne en fonte de $2^m,75$ de diamètre, dont les parois sont percées de trous, à été dressée au milieu du lac et descend à 21 mètres au-dessous du niveau de l'eau dans une couche de marnes compactes. Ce puits communique avec le rivage par un aqueduc souterrain dans lequel plongent les pompes. L'exécution de ce travail présentait, on le conçoit, des difficultés extraordinaires qui ont été habilement surmontées.

New-York, Philadelphie, Boston ont des distributions d'eau abondantes. Washington, avec 70,000 habitants, reçoit 300,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. Ce fleuve artificiel est dérivé du Potomac, à 28 kilomètres en amont de la ville. La dépense d'établissement n'a été que de 14 millions de francs, soit moins d'un centime le mètre cube. Il y a cependant sur le parcours de l'aqueduc des ouvrages d'art remarquables, entre autres un pont d'une seule portée de 61 mètres d'ouverture. Les deux conduites métalliques qui forment l'aqueduc supportent un tablier en charpente pour le passage des voitures. Les Américains se sont toujours distingués par la hardiesse de leurs conceptions en fait de travaux publics.

On le voit, il n'est guère de grande ville qui échappe à la nécessité d'aller chercher au loin les eaux nécessaires à son alimentation. Dans les contrées peu peuplées comme l'Espagne ou dans les pays de montagne, ces emprunts de sources éloignées ne soulèvent aucune réclamation de la part des propriétaires du sol. Au contraire, dans les départements qui entourent Paris, chaque

chose à sa valeur ; un filet d'eau est un bien plus précieux que tout autre, parce qu'il engendre la fertilité. Aussi les détenteurs d'eaux courantes ont-ils fait payer cher à la ville de Paris la cession des sources dont elle avait besoin. C'était légitime ; ce qui l'était moins, c'était la prétention de s'opposer à l'établissement des dérivations sous le spécieux prétexte qu'il est interdit par un prétendue droit naturel d'enlever à une contrée ses éléments de prospérité. On ne s'est pas assez rendu compte qu'une vaste agglomération d'hommes comme Paris ne peut vivre qu'en demandant sa subsistance aux provinces qui l'entourent. Elle est forcée par la nature des choses de demander de l'eau à la Champagne aussi bien que du vin à la Bourgogne, du blé à la Beauce, des bestiaux à la Normandie.

Il ne nous reste plus qu'à parler, en peu de mots, de l'emploi industriel de l'eau qui arrive en charge dans les tuyaux de distribution. Cette question a déjà été traitée dans l'*Annuaire* (sixième année, page 287). Avec des réservoirs placés à 40 ou 50 mètres au-dessus du niveau de la Seine et des conduites où l'eau est comprimée sous une pression de plusieurs atmosphères, Paris est comme au fond d'un lac idéal. Partout où passe un tuyau, la pression existe ; il n'est pas difficile de la transformer en force vive. On en a déjà fait diverses applications : à la télégraphie atmosphérique, au soulèvement des matériaux dans les maisons en construction. A Lyon, il existe dans les petits ateliers bon nombre de turbines qu'une prise d'eau met en mouvement. En Amérique, paraît-il, on est plus largement entré dans cette voie ; on peut citer la ville de Boston où les presses qui servent à imprimer l'un des journaux les plus répandus n'ont pas d'autre force motrice. Cependant cette application ne paraît pas de nature à s'étendre beaucoup. Elle est fort utile sur un chantier temporaire ou dans un atelier de médiocre importance, parce que les frais d'installation sont restreints ; mais s'il s'agit d'une installation permanente ou si l'on a besoin d'une force un peu considérable, la machine à vapeur conserve une supériorité incontestable.

H. Blerzy.

IV

BROYEUR UNIVERSEL.

(CARR'S PATENT DESINTEGRATOR.)

Les matières employées dans un grand nombre d'industries ne peuvent servir dans l'état où on les rencontre le plus habituellement : elles doivent être réduites en fragments de diverses grosseurs, concassées plus ou moins finement et même pulvérisées. Le but qu'on se propose est variable, mais il peut toujours être considéré au fond comme nécessitant une augmentation de la surface libre, qu'il s'agisse de faciliter des réactions chimiques, d'aider à l'action de la chaleur ou de rendre plus rapide la dissolution dans un liquide. Le broyage est souvent fort difficile, fort coûteux, et exige, pour certaines substances, un temps assez long pour les amener à un état convenable.

Les procédés employés jusqu'à ce jour ont donné naissance à un grand nombre d'appareils divers, mais que l'on peut tous ramener à un petit nombre de types ; on classera d'abord ensemble tous les appareils dans lesquels le broyage s'effectue par des chocs d'un instrument soulevé à intervalles de temps réguliers et retombant par son propre poids sur la matière disposée dans un vase résistant et de forme convenable. Le pilon et le mortier du droguiste figurent dans cette classe à côté des appareils plus vastes et plus perfectionnés, tels que les bocards mus par l'action de l'eau, réunis en grand nombre, soulevés et retombant à tour de rôle avec régularité.

On formerait une autre classe des appareils agissant continuement et par pression, soit que la pression fût due à d'énormes meules de granit roulant et tournant dans un bassin à fond plat sur lequel se trouve la matière à broyer, le poids des meules étant alors réellement la force qui broie (moulin à chocolat), soit que la matière passe entre deux cylindres tournant en sens contraires et dont les axes ne peuvent s'éloigner (moulin à broyer les couleurs). Ces cylindres agissent comme des laminoirs et écrasent la ma-

tière que son défaut de malléabilité empêche de s'étendre en s'amincissant. Les meules des moulins à farine, agissant en vertu de leur grande vitesse et par le moyen des rainures inclinées qu'on y a creusées, forment une troisième classe de machines à broyer.

Le choix d'une machine à broyer dépend de conditions très-multiples, sur lesquelles nous ne pouvons insister : il est difficile, et même impossible, de se rendre compte de l'effet utile des appareils de cette espèce, car on ne peut calculer le travail employé à la désagrégation de la matière, travail qui serait la mesure de cet effet utile.

Quoi qu'il en soit, on peut prévoir qu'il y a certainement une grande quantité de travail perdu ; dans le bocardage, principalement, qui est le seul procédé que l'on puisse appliquer à certaines matières, une portion très-notable de la puissance vive acquise par le pilon en tombant se trouve entièrement absorbée par l'appareil; avant d'être désagrégée, la substance à broyer transmet au mortier une fraction considérable de la puissance vive qui lui est communiquée, et dont l'effet est de produire des secousses dans l'appareil, de le détériorer rapidement, actions qu'il serait économique d'éviter à tous égards.

On voit, d'après ce que nous venons d'indiquer, que c'est la communication de la puissance vive du pilon au mortier, sans effet sur la substance qui sert d'intermédiaire, qui est la cause principale de perte de travail; si donc on pouvait supprimer le mortier, ou, d'une manière plus générale, le support de la matière à broyer, on éviterait l'inconvénient grave que nous avons signalé ; il s'agirait, en un mot, de piler une substance sans l'appuyer sur rien. Il semble qu'il y ait là une impossibilité, plus même, une naïveté. Nous allons faire comprendre qu'il n'en est rien.

Dans l'action du pilon, il y a, en somme, rencontre d'un corps animé d'une faible vitesse, mais lourd et susceptible de posséder une puissance vive considérable, et d'un corps au repos. La détérioration du corps est notre but, celle du pilon ne peut être évitée, il faut s'y résigner; mais, nous le répétons, celle du mortier est fâcheuse, il faudrait s'y opposer. Si le corps à broyer, assez léger, est projeté avec une très-grande vitesse contre le pilon, il se brisera en morceaux si la puissance vive qu'il possédait était assez considérable, de la même manière que si, au contraire, le

pilon était précipité sur lui; c'est là un fait que chacun a pu avoir l'occasion d'observer : un morceau de craie, par exemple, est divisé en un grand nombre de fragments si nous le jetons avec une vitesse suffisante contre un corps dur, comme une plaque de marbre. Seulement, dans ce cas, il n'y a pas eu absorption de travail par un corps servant de support; si donc on parvenait à donner à la craie une vitesse suffisante, après un certain nombre de chocs elle serait broyée économiquement.

C'est une observation analogue qui conduisit M. Carr à la construction du *broyeur universel;* il lançait un morceau de craie en l'air et cherchait à l'atteindre à l'aide d'une canne qu'il tenait à la main; la rencontre ayant eu lieu plusieurs fois avec des vitesses considérables de ces corps, il remarqua que, chaque fois, la craie était brisée en petits morceaux, et beaucoup plus qu'elle ne l'aurait été si la craie, étant posée à terre, il l'eût frappée avec la même force.

Nous le répétons, car c'est là le principe de l'appareil que nous allons décrire, un corps libre, isolé, peut être broyé plus ou moins finement s'il rencontre un autre corps dur, la vitesse relative des deux corps étant considérable.

L'appareil de M. Carr est fort simple, il ne présente aucun organe délicat, aucun agencement susceptible de se déranger. Sur un arbre horizontal se trouve fixé un plateau de fonte participant à son mouvement; des barreaux de fer, implantés dans ce plateau par une extrémité, forment deux circonférences que nous appellerons A et B, séparées par un large intervalle; les extrémités libres des barreaux sont reçues dans une couronne en fonte qui les rend solidaires. Deux autres circonférences C et D de diamètres respectivement moindres que A et B, sont disposées également sur un disque porté par un autre arbre situé sur le prolongement du premier; on rapproche les deux parties de manière que les diverses rangées circulaires de barreaux soient exactement sur le même verticale; elles se trouvent alors alternées, dans l'ordre suivant, par exemple, A, C, B, D. Enfin les arbres sont mis en mouvement, mais en sens contraires, entraînant avec eux les roues et les barreaux, de telle sorte que deux rangées consécutives de barreaux tournent dans des directions opposées et avec des vitesses considérables, comme nous allons le dire. Enfin, une sorte de caisse à parois pleines, et présentant seulement des ouver-

tures centrales qui donnent passage aux arbres et une ouverture inférieure, recouvre tout l'appareil.

On peut facilement concevoir, dès lors, le mode de fonctionnement de l'appareil : la matière à pulvériser est introduite par une ouverture centrale et participe bientôt au mouvement de rotation qui tend à l'éloigner du centre et la projette contre les barreaux de la roue du plus faible diamètre, D ; les fragments se subdivisent par suite de ce premier choc, et en même temps sont précipités dans le sens du mouvement de D contre les barreaux de la roue C marchant dans une direction opposée ; le nouveau choc complète l'effet du premier et renvoie le corps contre la roue B, et ainsi de suite jusqu'à la roue extérieure ; la matière, entièrement pulvérisée si les vitesses de rotation étaient assez considérables, s'échappe par l'ouverture inférieure de l'enveloppe.

Cet appareil permet d'obtenir le broyage de toutes les substances non fibreuses et donne des poussières plus ou moins fines à volonté. La vitesse nécessaire varie avec la substance sur laquelle on opère, et, pour chaque substance, avec le degré de finesse que l'on veut obtenir. Il y a là des données qui, pour chaque cas, doivent nécessairement être le résultat d'expériences spéciales. On peut dire d'une manière générale, cependant, que la vitesse doit varier entre 300 et 600 tours par minute. Ces chiffres font comprendre la puissance des effets que l'on obtient, si l'on remarque que les barreaux sont entraînés avec une rapidité qui leur fait parcourir jusqu'à 30 et 35 mètres par seconde, et que c'est avec cette vitesse qu'ils rencontrent les fragments projetés par les roues précédentes et animés de vitesses à peu près égales, mais dirigées en sens contraire, ce qui double l'effet.

Le broyeur Carr permet encore d'obtenir des mélanges très-intimes de diverses matières dans des proportions déterminées, et c'est là une opération souvent fort utile dans certaines industries.

Cet appareil semble devoir s'appliquer dans toutes les circonstances à peu près, par suite de son extrême simplicité ; mais l'expérience seule peut donner raison à ces prévisions. On peut citer le broyage de la houille comme s'effectuant très-avantageusement, ainsi que cela résulte d'expériences faites à Anzin ; le broyage du brai et son mélange à la houille également broyée permettent d'obtenir des briquettes qui paraissent faites dans de

très-bonnes conditions. En Angleterre, le broyeur Carr est utilisé dans les exploitations métallurgiques, où il est employé à divers usages.

Nous n'avons pas la prétention d'indiquer, même rapidement, les différents cas dans lesquels on peut se servir de cet appareil; nous signalerons cependant l'emploi qu'on en fait à Paris pour le broyage de l'asphalte qui sert pour les chaussées de certaines rues, parce que cette opération peut être vue facilement, et par suite mieux comprise. On fait aussi de temps à autre quelques essais chez MM. Weyher et Loreau, constructeurs, chez lesquels on peut avoir tous les renseignements relatifs à l'emploi du broyeur Carr.

On a fait cependant à cet appareil quelques critiques; il exige pour être mis en mouvement des machines d'une très-grande force, il s'échauffe singulièrement quand il est maintenu au travail pendant un temps assez long, et consomme pour son graissage une quantité d'huile énorme. Malgré cela, il nous a semblé que le broyeur Carr, par sa simplicité, par l'originalité de son principe, méritait d'être signalé; il se trouve entre les mains de constructeurs habiles, qui sauront sans doute le perfectionner jusqu'à ce qu'il donne des résultats tout à fait satisfaisants.

C.-M. Gariel.

CHIMIE APPLIQUÉE

I

LA COMBUSTION A HAUTE PRESSION EN MÉTALLURGIE

D'APRÈS LES PROCÉDÉS DE M. H. BESSEMER.

Tous les lecteurs de l'*Annuaire scientifique* connaissent les admirables travaux auxquels Bessemer a attaché son nom. Ils savent que le célèbre ingénieur anglais, après de longues et coûteuses recherches, a pu produire industriellement un métal presque aussi résistant que l'acier, susceptible, comme lui, de se travailler par fusion, se laissant mouler sous toutes les formes, et qui, à ces avantages, joint celui d'un prix de revient à peine supérieur à celui du fer de bonne qualité. Les premiers essais de Bessemer ne remontent qu'à 1856, et quelques années ont suffi pour faire apprécier de tous la valeur de « l'acier Bessemer, » ou, pour parler plus exactement, du « métal Bessemer, » pour en généraliser l'emploi dans une multitude d'applications et lui créer des débouchés considérables. Nous ne reviendrons pas sur les procédés de fabrication de ce produit, nous bornant à renvoyer le lecteur qui désirerait les étudier en détail aux nombreux travaux scientifiques dont ils ont été l'objet, et notamment à l'excellente étude de M. Gruner. Nous nous contenterons ici de rappeler, que partout où l'on a besoin d'un métal plus résistant, plus homogène que le fer corroyé ou soudé, partout où la complication des formes rend le fer forgé presque inadmissible, le métal Bessemer est aujourd'hui exclusivement employé. Pour les pièces

des machines appelées à fatiguer, pour les bielles, les arbres, les manivelles, les bandages des roues, les rails de chemins de fer, etc., sa consommation annuelle se chiffre par centaines de mille tonnes. Il nous suffira, pour ne citer qu'un exemple, de rappeler que, d'après les expériences faites en Angleterre sur une vaste échelle, les rails Bessemer durent vingt-quatre fois autant que les rails en fer, pendant que leur prix est à peine le triple à poids égal. D'autre part, et pour faire ressortir l'intérêt qui s'attache à cette durée, on sait que la plupart des compagnies de chemins de fer se sont décidées à remplacer toutes leurs voies par des rails du nouveau métal. Or, pour la compagnie de Lyon, ce changement, sur la ligne principale de Paris à Marseille seulement, correspond à plus de 130,000 tonnes d'acier.

Ces résultats, si rapidement atteints en quelques années, auraient suffi pour immortaliser le nom de leur auteur, pour le classer à côté des Watt, des Stephenson, des Philippe de Girard, dans la liste glorieuse des bienfaiteurs de l'humanité; mais M. Bessemer ne s'est pas tenu pour satisfait. Avec cette énergie persistante, ce savoir profond et surtout avec l'admirable intuition dont il avait si souvent fait preuve dans ses premiers travaux, il poursuivit plus loin ses recherches, et, aujourd'hui, une découverte plus récente qu'il vient de faire paraît appelée, grosse d'applications encore à peine pressenties, à éclipser ses premières inventions, à révolutionner, plus profondément encore que ne l'avait fait son acier, toute l'industrie métallurgique. Nous voulons parler de la méthode de combustion sous haute pression, dont nous nous proposons d'indiquer brièvement le principe et les applications immédiates à la métallurgie. Nous croyons que les lecteurs de l'*Annuaire* liront avec intérêt, malgré la brièveté que nous impose notre cadre, quelques détails sur cette invention dont l'idée ne remonte qu'à quelques mois, et qui, néanmoins, préoccupe déjà vivement, en Angleterre, tous ceux dont les études, les travaux ou l'industrie touchent à la métallurgie.

Nous emprunterons, d'ailleurs, une partie de nos renseignements, soit aux brevets de l'auteur, soit aux dernières publications de la presse scientifique anglaise [1], soit enfin aux indications

[1] Voir notamment, pour les détails du procédé et les dessins des appareils, les numéros des 17 septembre et 15 octobre du journal anglais *Engineering*.

qu'ont bien voulu nous fournir de vive voix les ingénieurs anglais qui ont assisté aux expériences de Bessemer ou ont cherché à en vérifier les résultats en vue d'appliquer, dans leurs propres usines, les procédés nouveaux.

On sait combien, dans la plupart des opérations métallurgiques, dans la fusion de l'acier, le travail au haut fourneau, le puddlage du fer, etc., il est essentiel de disposer de températures élevées. La réussite du travail dépend, en effet, non-seulement de la quantité de chaleur fournie à la masse, du nombre de calories ou du poids de combustible dépensé, mais encore et surtout de la température atteinte, et, suivant qu'un combustible développera une température plus ou moins forte, une *intensité de chaleur* plus ou moins grande, la quantité de ce combustible dépensée pour un travail donné pourra varier entre des limites très-étendues, et cela quel que soit le nombre d'unités de chaleur ou de calories réellement fourni. Un exemple fera comprendre notre pensée. Supposons qu'on veuille opérer la fusion d'un métal qui passe à l'état fluide à 1000°, par exemple, et que le foyer où doit s'effectuer la fusion ou le choix même du combustible soient tels que la température maximum produite par la combustion soit de 990° seulement. On aura beau brûler indéfiniment de nouvelles charges de combustible, le métal restera solide, tandis que si les conditions sont changées, si, par exemple, on prend un combustible tel, que la température développée soit 1100°, le métal entrera rapidement en fusion.

Or, dans la pratique, ces difficultés se présentent en réalité. Plusieurs des opérations métallurgiques supposent des températures que certains combustibles de choix seuls permettent d'atteindre; il en résulte que, souvent, une usine, tout en ayant à sa porte des combustibles abondants à très-bas prix, mais de qualité médiocre, est obligée d'en faire venir, à grands frais, d'autres mieux appropriés à l'usage auquel on les destine.

Cette question de la production des hautes températures, avec des combustibles quelconques, joue donc, dans l'industrie métallurgique, un rôle capital, et on comprend que les inventeurs se soient attachés à la solution de cet important problème.

Les fours Siemens et leurs régénérateurs ont constitué, dans ce sens, une découverte considérable. En premier lieu, comme dans le four Siemens, on ne s'occupe plus que de produire, sans

les brûler dans la même enceinte, les gaz combustibles (oxyde de carbone, hydrogène, hydrogènes carbonés), on a pu utiliser pour le développement de ces gaz des combustibles de toute nature (tourbe, lignites, sciure de bois, etc.), jusque-là sans emploi. D'autre part, les gaz ainsi produits et dont la combustion fournit, au point et au moment voulus, la chaleur nécessaire, peuvent être brûlés dans les conditions les plus propices au développement des hautes températures (admission d'air minimum). Enfin, et c'est un des points essentiels et originaux de l'invention de MM. Siemens, les gaz combustibles et l'air nécessaire à leur combustion ne se rencontrent qu'amenés déjà à une température élevée par leur circulation à travers les carneaux du *régénérateur*.

Le système Siemens, consacré par la pratique de plusieurs années et le succès de nombreuses applications, a donc réalisé d'importants progrès. Ainsi, il a permis de réduire de 40 ou 50 p. 100 la dépense de combustible dans le travail des verreries et le puddlage du fer.

Des résultats analogues sont obtenus avec les appareils de Schnitz, beaucoup plus récents que ceux de Siemens, et dans lequels une partie du combustible solide employé d'habitude, est remplacée par de l'oxyde de carbone, ce qui, en réduisant la proportion des gaz inertes, de l'azote mélangé aux produits gazeux de la combustion, augmente d'autant la température de ces derniers.

La nouvelle méthode de Bessemer est basée sur un principe tout différent. La théorie avait indiqué que la combustion opérée sous pression déterminait la production de températures plus élevées, et d'autant plus élevées que la pression était plus considérable. Mais cette idée, résultant de la théorie mécanique de la chaleur, et dont l'exactitude avait tout au plus été vérifiée par quelques expériences de laboratoire, n'avait jusqu'à ce jour fourni aucun résultat pratique. Steinheil, en Allemagne, avait bien signalé, il y a quelques années, les applications industrielles auxquelles cette loi physique pouvait donner naissance; mais la question en était restée là; d'autre part, M. H. Sainte-Claire Deville, dans ses dernières études sur ce sujet, avait surtout en vue la vérification de lois purement scientifiques. En fait, la difficulté de réaliser pratiquement les conditions voulues avait eu pour conséquence de diriger dans d'autres voies les recherches des

inventeurs, lorsque Bessemer, reprenant le problème, parvint à lui donner une solution définitive, et, du premier coup, avec des combustions opérées sous une pression de 2 ou 3 atmosphères au plus, atteignit industriellement, et pour de grandes masses, des températures exceptionnellement hautes. Bessemer a donc eu le double mérite et d'appliquer le premier dans la pratique une méthode précieuse, et surtout de réaliser, pour cette application, un ensemble d'appareils entièrement nouveaux et d'une marche très-satisfaisante.

Toutefois, avant de décrire ces appareils et d'indiquer leurs résultats, il pourra n'être pas sans intérêt pour le lecteur de résumer brièvement l'historique de la découverte qui nous occupe. On n'est, en général, que trop porté à ne voir, dans les inventions, depuis les plus modestes jusqu'aux plus brillantes, qu'un pur effet de hasard, un caprice heureux de la fortune, à oublier toute la série préliminaire de recherches, de travaux ardus, d'associations d'idées, qu'a dû franchir l'inventeur, avant d'arriver à la solution définitive du problème qu'il s'était posé. D'ailleurs, notre digression n'eût-elle d'autre résultat que celui de faire ressortir une fois de plus la valeur et l'originalité du savant ingénieur anglais, elle serait loin d'être inutile.

Vers le commencement de 1868, H. Bessemer, désireux d'entreprendre certaines recherches sur la fusion, la volatilisation et la cristallisation de principes réfractaires, eut à se préoccuper des moyens de produire des températures extrêmement élevées, et, après maintes tentatives infructueuses, eut l'idée d'utiliser la chaleur solaire, en reprenant, mais avec des moyens plus parfaits, les célèbres expériences de Buffon. Les travaux d'Herschell, de Pouillet, ont prouvé effectivement que le soleil émettait une quantité de chaleur considérable, et les appareils d'Ericson ont montré que, sous un avenir sans doute peu éloigné, cette chaleur pourrait recevoir, dans la mécanique industrielle, de précieuses applications. Suivant l'opinion de beaucoup de savants, la chaleur qu'émet le soleil serait due à la présence, dans son enveloppe, d'éléments incandescents dont la combustion produit des températures énormes. Or, grâce à l'analyse spectrale, on connaît la composition des corps que renferme cette enveloppe, et l'étude des raies du spectre a démontré l'identité de la plupart de ces corps avec ceux qui existent à la surface de la terre. Bes-

semer, en approfondissant cette question, et pendant qu'on construisait la gigantesque lentille qui devait concentrer en son foyer la quantité de chaleur nécessaire à ses recherches, fut amené à étudier pourquoi les mêmes principes qui, brûlant dans notre atmosphère, n'y produisent que des températures relativement faibles, pouvaient, dans l'enveloppe solaire, déterminer la formation de températures incomparablement plus hautes. L'idée lui vint que la cause devait en être due à la différence de densité des milieux dans lesquels s'opère la combustion; cette densité, d'après les travaux astronomiques, est, en effet, 27 fois environ plus grande dans le soleil qu'à la surface de notre globe.

Cette idée se trouva vérifiée par quelques expériences préliminaires que Bessemer s'occupa de répéter immédiatement sur une plus grande échelle. C'est à la suite de ces travaux, couronnés d'un plein succès, qu'il construisit sa coupole à haute pression, dont les résultats industriels dépassèrent toute prévision.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, le principe de l'appareil de Bessemer consiste à effectuer la combustion dans une enceinte fermée, à la pression de 2 ou 3 atmosphères. Si l'on songe que les appareils métallurgiques, pour l'acier par exemple, fournissent d'une seule coulée 5 tonnes et plus d'acier fondu, qu'avec des dimensions par là même considérables, ils doivent, dans la nouvelle méthode, résister à des pressions intérieures très-fortes, ne présenter aucune fissure, aucun joint par lesquels les gaz de la combustion pourraient s'échapper au dehors; si enfin l'on songe que les matériaux mêmes dont l'appareil est construit doivent supporter sans altération des températures excessives, on comprendra toute la difficulté que présentaient l'étude et la construction de ces appareils. Pour tout autre que pour Bessemer, le problème ainsi posé était à peu près insoluble.

Nous ne saurions, en l'absence de dessins, et sans donner à cet article des dimensions hors de proportion avec le cadre de l'*Annuaire*, décrire en détail les nouveaux appareils de Bessemer. Il est d'ailleurs probable que, sur beaucoup de points, les installations futures et définitives s'écarteront assez notablement du modèle construit pour les premiers essais. Nous nous bornerons donc à en esquisser rapidement l'ensemble, priant le lecteur désireux d'étudier la question d'une manière plus complète de se reporter aux publications citées au début de notre article.

D'une façon sommaire, la coupole de Bessemer est un vaste cylindre en tôle, revêtu intérieurement, tant sur les parois que sur les fonds, d'une couche épaisse de matériaux très-réfractaires. C'est dans cette enceinte, par une porte mobile ménagée à la partie supérieure, que sont introduites les charges successives du combustible et du métal, ou du minerai que l'on veut traiter. Vers le milieu de la hauteur, sont les tuyères qui injectent dans l'intérieur de la coupole l'air nécessaire à la combustion. Cet air arrive comprimé par une soufflerie puissante sous une pression de 3 atmosphères environ. Vers le haut, se trouve l'orifice d'évacuation des gaz de la combustion. Il est formé par un cône allongé, en terre réfractaire, qu'un ressort en acier tend à appliquer constamment sur l'orifice de sortie. On comprend que, si la tension du ressort est convenablement réglée, les produits gazeux ne pourront sortir de l'enceinte que quand leur pression fera équilibre à la charge qui s'exerce sur la soupape, et celle-ci, plus ou moins soulevée suivant la tension intérieure, laissera entre elle et les bords de l'orifice un espace annulaire de section plus ou moins grande, de telle sorte que le passage laissé aux gaz soit toujours exactement en rapport avec l'excès de leur tension sur la pression atmosphérique extérieure.

D'un autre côté, il importait que la valve par laquelle s'introduisent les chargements fût disposée de telle façon que la manœuvre pût toujours être très-facile, sans que, pendant la marche, les gaz pussent s'échapper de ce côté. Bessemer a résolu le problème d'une façon extrêmement simple. Le couvercle qui forme cette fermeture est muni, dans la partie où il vient reposer sur son siége, d'un canal circulaire mis d'une façon permanente en communication avec le conduit dans lequel l'air comprimé circule pour arriver aux tuyères, et de là dans la coupole. Comme cet air est toujours à une pression un peu supérieure à celle qui existe dans l'intérieur du foyer, on comprend que ce matelas ménagé tout autour du couvercle opposera à la sortie des gaz du foyer une résistance absolue. La seule chose qui puisse se produire, si le joint n'est pas hermétique, est une rentrée de l'air dans l'intérieur de la coupole, et cette rentrée d'air ne saurait avoir aucun inconvénient. Ce dispositif a d'ailleurs l'avantage, en maintenant un des côtés de la tôle en contact avec un courant d'air froid, de le refroidir suffisamment pour prévenir les dété-

riorations que ne manqueraient pas de produire sans cela les températures élevées auxquelles la paroi se trouve exposée sur l'autre côté.

De même, des précautions analogues sont prises pour préserver contre l'action de la chaleur le reste des parois ; un dispositif spécial permet de faire arriver sur leur face extérieure un courant continu d'eau froide qui, activant la transmission de la chaleur, maintient les diverses parties qui constituent l'ossature de la coupole a une température relativement basse. — Enfin, et surtout dans un appareil d'essai, il était essentiel qu'on pût avoir à chaque moment la mesure de la pression des gaz à l'intérieur. Le manomètre à mercure était le seul instrument précis qu'on pût employer, mais, aux températures élevées où se trouvent les gaz, le mercure se volatilisait avec une rapidité excessive dans la branche en communication avec le foyer. Un artifice ingénieux a permis de parer à cette difficulté. Immédiatement au-dessus de la couche de mercure exposée à se vaporiser, arrive un courant d'air froid comprimé, provenant de la soufflerie. L'expérience prouve que ce refroidissement continu suffit pour préserver le métal de la vaporisation, et comme d'ailleurs le débit de cet ajutage d'air comprimé est très-faible, il n'en résulte pour les indications de pression aucune cause d'erreur appréciable.

L'appareil dont nous venons de décrire sommairement la disposition fonctionne depuis plusieurs mois déjà dans les conditions les plus satisfaisantes. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, il permet de réaliser industriellement des températures pour ainsi dire sans limite, puisqu'elles croissent rapidement avec la pression. Quelques exemples suffiront pour faire apprécier l'importance des résultats déjà acquis. Dans une expérience, une barre de fer de $0^{m},055$ de côté et de $0^{m},30$ de long, pesant $6^{k},20$, fut introduite froide dans la coupole ; en cinq minutes et demie, elle était entièremen fondue. 150 kilogrammes de copeaux de fer forgé furent amenés en quinze minutes à un état parfaitement liquide, et cela avec une consommation de combustible à peine égale à celle qu'eût exigé la fusion d'un même poids de fonte. Appliquée à la fusion de l'acier, la coupole à haute pression réalise une économie de combustible de 66 p. 100 sur les méthodes ordinaires, et, dans toutes les opérations métallurgiques auxquelles elle pourra se prêter, il n'est pas douteux

qu'on obtienne des résultats équivalents. L'importance de ces faits n'échappera à personne. En présence de l'épuisement possible des mines de houille dans nos contrées, sous un avenir plus ou moins éloigné, en présence des besoins sans cesse croissants de l'industrie, qui réclame le fer et les métaux utiles à des prix de plus en plus faibles, une découverte comme celle de Bessemer a, sans contredit, la plus haute valeur, et est appelée à rénover, au profit des consommateurs, c'est-à-dire au profit de la société tout entière, toutes les conditions économiques de l'industrie. Peut-être, suivant l'expression heureuse d'un journaliste anglais, sommes-nous appelés à voir bientôt les méthodes actuelles et coûteuses de fabrication du fer remplacées par une simple distillation du minerai, analogue à celle qui nous fournit déjà le zinc, le mercure, etc.

Il va de soi, d'ailleurs, que la méthode de Bessemer, essayée d'abord avec des combustibles solides, se prête merveilleusement à l'emploi de tous les autres modes de développement de la chaleur. Associée par exemple aux fours de Siemens, et brûlant les produits gazeux fournis par ces derniers, elle permet d'utiliser tous les combustibles, de quelque qualité qu'ils soient, sauf à compenser dans certains cas, par un excès de pression, la température plus faible que donnent les combustibles médiocres.

Il nous reste maintenant, pour compléter cette étude, à donner, au point de vue théorique, l'explication des résultats si heureusement vérifiés par Bessemer, à exprimer la loi qui relie les variations de température, dans l'acte de la combustion, aux accroissements des pressions. C'est en effet le rôle propre de la science pratique, soit d'indiquer *a priori* à l'inventeur les applications possibles d'une loi des sciences pures, soit de lui fournir *a posteriori* l'explication des phénomènes observés, de le mettre sur la voie des améliorations possibles, des modifications avantageuses pour sa découverte.

La puissance calorifique d'un combustible est, comme on le sait, le nombre des calories fournies par la combustion complète de 1 kilogramme de ce combustible, ou, en d'autres termes, le nombre des kilogrammes d'eau dont on peut élever la température de un degré centigrade, à l'aide de 1 kilogramme du combustible étudié. Les expériences de Rumford, de Laplace et La-

voisier, de Despretz, de Favre et Silbermann, de Dulong, ont permis de déterminer la puissance calorifique d'un certain nombre de combustibles simples ou complexes, et, en partant de là, de trouver des lois, sinon rigoureusement vraies, au moins d'une exactitude très-suffisante dans la pratique, pour les conditions de la combustion. Nous ne rappellerons ici que deux de ces lois : 1° la puissance calorifique est indépendante de la façon dont s'effectue la combustion, pourvu qu'elle soit complète, et 2° la puissance calorifique d'un combustible est égale à la somme des quantités de chaleur dégagée par les éléments qui le composent, déduction faite de la portion d'hydrogène qui peut s'unir avec l'oxygène du combustible pour donner de l'eau.

Il suit de là que, pour un combustible quelconque, de composition connue, on peut calculer à l'avance la quantité de chaleur qu'il pourra fournir, ou sa puissance calorifique. Il est facile, en second lieu, connaissant les conditions dans lesquelles doit s'effectuer la combustion, et dans l'hypothèse d'un foyer ordinaire, sans pression, d'en déduire la température que prendront les gaz de la combustion dans le foyer. Le nombre des calories développé dans la combustion doit en effet se retrouver intégralement (en négligeant du moins les pertes par rayonnement), dans les produits gazeux de cette combustion. Il suffira donc de calculer le poids de ces derniers, de le multiplier par leur chaleur spécifique, et de diviser par ce produit la puissance calorifique totale pour avoir la température développée. On comprend d'ailleurs que cette température pourra être extrêmement variable, en dehors de la qualité du combustible, suivant la proportion d'air ou d'oxygène introduite dans le foyer pour alimenter la combustion. Ainsi, tandis qu'un kilogramme de charbon, brûlant dans l'oxygène pur, la quantité de ce gaz étant réduite strictement au volume théorique nécessaire, donne une température de 10,179°, dans l'air, la présence de l'azote réduira cette température à 2,703° ; et si, comme on est à peu près obligé de le faire dans la pratique, la quantité d'air introduite dans le foyer est double de celle qu'exigerait théoriquement la combustion, la température produite sera de 1,400° seulement.

Il va de soi, d'ailleurs, que ces températures sont purement théoriques, et que dans la pratique on ne saurait les atteindre, mais les chiffres que nous venons de citer permettent de saisir

l'importance d'une combustion bien dirigée, et de faire connaître l'intérêt qui s'attache aux foyers où, comme dans ceux de Beaufumé, de Siemens, etc., on peut régler exactement la proportion d'air introduite dans l'enceinte de la combustion.

Les résultats auxquels nous sommes arrivés, comme du reste les expériences qui avaient servi de base à notre raisonnement, s'appliquent expressément au cas où la combustion s'opère à la pression atmosphérique, où les gaz qui traversent le foyer peuvent se dilater librement sous l'action de la chaleur. Cette dilatation est considérable, puisqu'elle correspond au doublement du volume initial pour une élévation de température de 280° environ. Or, en se dilatant ainsi, les gaz déplacent un certain volume d'air, par conséquent développent un travail extérieur qui, d'après la théorie mécanique de la chaleur, correspond à la disparition d'une proportion équivalente de chaleur sensible. En d'autres termes, la quantité de chaleur sensible sera moindre, dans le cas qui nous occupe, que si les gaz confinés dans une enceinte fermée n'avaient pu, pendant qu'ils s'échauffaient, se dilater. Or c'est précisément cette dernière condition qui se trouve réalisée dans les expériences de Bessemer. Les gaz sont maintenus dans la coupole à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Au point de vue de la quantité de chaleur développée, et, par suite de la température, l'effet sera donc exactement le même que si on les avait laissés se dilater librement sous l'action de la chaleur, en les maintenant à la pression atmosphérique, puis qu'ensuite, par une compression brusque, on eût réduit leur volume de moitié ou des deux tiers. Cette compression aura pour effet inévitable d'augmenter leur quantité de chaleur sensible et leur température. Il nous suffira d'ailleurs, pour faire saisir cet effet à ceux de nos lecteurs qui seraient moins familiarisés avec les nouvelles idées admises sur la chaleur et le travail, de rappeler l'expérience bien connue, répétée dans tous les cours de physique, celle du briquet pneumatique, où la compression brusque de l'air développe une température suffisante pour enflammer un morceau d'amadou.

Or, si l'on prend une certaine masse de gaz à la température t et à la pression p, et qu'on la comprime sans soustraction de chaleur à la pression p_1, le calcul basé sur la théorie mécanique

de la chaleur donne[1], pour la nouvelle température t_1, que prendra le gaz, l'expression

$$t_1 + 273 = (t + 273) + \left(\frac{p}{p}\right)^{0,29}$$

Appliquons cette formule à l'exemple donné plus haut de charbon brûlant dans un foyer où l'on admet le double de la quantité théorique d'air nécessaire pour la combustion. Nous avons vu que, dans ce cas, la température produite à la pression ordinaire était de 1,400°. Supposons le même combustible, brûlant, dans les mêmes conditions d'admission d'air, dans l'appareil de Bessemer, sous une pression de 2 atmosphères. En remplaçant dans la formule ci-dessus p par 2, t par 1,400, la température produite sera de 1,771°, soit de 371° supérieure à celle qu'aurait donné la combustion dans un foyer ordinaire. Avec une pression de 3 atmosphères, l'accroissement de température serait de 667°, et la température réelle supérieure à 2,000°. Ces chiffres, que nous pourrions multiplier à l'infini, suffiront pour faire apprécier au lecteur toute l'importance de la découverte de Bessemer, puisque la réalisation de températures, si hautes soient-elles, ne dépend plus que de la perfection avec laquelle est construite l'enceinte où s'utilise et se développe la chaleur.

Dans ces conditions, aujourd'hui que l'expérience a parlé, qu'elle a sanctionné la solution imaginée de Bessemer, ce n'est

[1] Soit v le volume d'un gaz, p sa pression, t sa température, C sa chaleur spécifique à pression constante, c sa chaleur spécifique à volume constant, Q la quantité de chaleur gagnée ou perdue, on a en général

$$dQ = Cdt - (C - c)\,(273 + t)\,\frac{dp}{p}$$

Si la variation de volume se fait sans gain ou perte de chaleur, $dQ = o$, et l'équation différentielle qu'on obtient, intégrée entre les limites p_1 et p, t_1 et t, donne

$$\frac{273 + t_1}{273 + t} = \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{C - c}{C}}$$

Or, pour l'air, et aussi sans erreur, sensible, pour les gaz développés dans la combustion, on a $C' = 0{,}238$ et $c = 0{,}169$, d'où $\frac{C - c}{C} = 0{,}29$, ce qui ramène à la formule donnée dans le texte.

plus qu'affaire de temps pour en généraliser l'application, et ce temps ne saurait être éloigné, car déjà, à notre connaissance, plusieurs usines anglaises commencent à s'outiller avec les nouveaux appareils, sentant bien que grâce aux travaux de Bessemer, une révolution est imminente dans tout le domaine de la métallurgie, et que le progrès ne saurait s'enrayer dans sa route glorieuse et féconde.

E. Mérijot.

LA CORALLINE.

Parmi les différents produits chimiques employés dans la teinture et dans la fabrication des papiers peints, il en est un certain nombre qui présentent des propriétés toxiques très-développées. C'est ainsi que la céruse ou carbonate de plomb, étendue sur des dentelles, les verts à base d'arsenic ou verts de Schweinfurt, utilisés dans la coloration de certains vêtements ou de papiers de tenture, peuvent occasionner de graves accidents, par cela même que ces substances sont très-vénéneuses.

Il est donc important de se préoccuper de la valeur toxique d'un corps qui peut se trouver à chaque instant en contact direct avec la peau, et on ne saurait étudier avec trop de soin les actions diverses qu'un pareil produit peut exercer sur l'organisme ; c'est en nous plaçant particulièrement à ce point de vue que nous allons examiner les effets produits par la coralline, substance colorante rouge que la mode avait cherché à introduire dans ces derniers temps dans la coloration des bas et des chaussettes, et dont les propriétés ont été si vivement discutées.

Qu'est-ce que la coralline? La coralline est une substance résinoïde, d'un beau vert doré, soluble dans les alcalis avec une riche couleur pourprée, et dans l'alcool avec une couleur rouge orangé ; peu soluble dans l'eau, elle donne dans les conditions où elle se trouve fabriquée actuellement des couleurs très-vives, mais

assez mauvais teint. Employée quelquefois, mais plus rarement dans l'impression des tissus, elle est aussi quelquefois utilisée sous forme de laque, dans l'industrie des papiers peints.

La coralline est une substance qui se rattache indirectement au groupe maintenant si considérable des couleurs dérivées de l'aniline ; découverte en 1860, par M. Jules Persoz, elle fut préparée par l'action simultanée de l'acide phénique, de l'acide oxalique et de l'acide sulfurique [1]. Le produit que l'on obtient par ce traitement doit être lavé à l'eau froide pour le débarrasser des acides qu'il a pu entraîner, puis un certain nombre de fois à l'eau bouillante.

La coralline jaune que l'on obtient ainsi est beaucoup moins employée en teinture que son principal dérivé, la coralline rouge. Si l'on traite en effet ce premier produit par l'ammoniaque, on obtient une couleur rouge pourpre, qui est extrêmement fixe comme couleur, lorsqu'on a soin de faire réagir l'alcali à la température de 150°, sous une forte pression. Mais, l'industrie anglaise qui prépare particulièrement la coralline n'a garde d'agir dans de telles conditions, par raison économique, et les diverses couleurs produites à l'aide de la coralline sont d'un usage détestable.

Enfin si l'on fait réagir la coralline jaune ou acide rosolique [2] sur l'aniline, on obtient l'azuline, matière colorante bleue qui, additionnée d'une petite quantité d'acétate, peut donner des bleus très-purs, et notamment des bleus lumière qui gardent leur nuance même à la lumière artificielle.—L'alizarine, d'après M. Lauth, ne serait due qu'à l'action de la rosalinine sur l'aniline ; la rosaline étant produite par l'action de l'acide rosolique sur cette aniline; dans ce cas, le bleu à base de coralline serait identique avec le bleu de Lyon [3].

Quoi qu'il en soit nous n'insisterons pas plus longtemps sur l'analogie que peuvent présenter ces diverses matières colorantes, et laissant de côté la fabrication de ces produits, nous arrivons immédiatement à la question que nous nous proposons de traiter

[1] Les proportions suivant lesquelles on doit faire réagir ces corps sont les suivantes : trois parties d'acide phénique, deux parties d'acide oxalique et deux parties d'acide sulfurique.

[2] M. Persoz avait aussi désigné la coralline rouge sous le nom de péonine.

[3] *Dictionnaire de chimie* de Wurtz, t. I, p. 499.

plus particulièrement : La coralline est-elle, oui ou non, d'un emploi dangereux?

Le 1er février 1869, M. Tardieu venait lire à l'Académie[1] un mémoire dans lequel il concluait d'une manière certaine que la coralline était une substance toxique : « La coralline est, à n'en pas douter, un poison d'une grande énergie. Introduite dans l'économie vivante, même à petite dose, elle peut causer la mort, » et plus loin, l'auteur ajoutait : « La coralline appartient à une classe de corps dont le progrès incessant des arts chimiques accroît chaque jour le nombre. C'est là une preuve nouvelle de l'intérêt considérable qu'il y a pour la science de l'hygiène, et pour la médecine légale elle-même, à suivre la marche et les progrès de l'industrie, et à étudier l'influence que ses plus récentes conquêtes peuvent exercer sur la santé des hommes. »

Sur quelles expériences M. Tardieu s'appuyait-il ainsi pour condamner l'emploi de la coralline dans la teinture, c'est ce que l'auteur va nous apprendre lui-même. « Au mois de mai de l'année dernière (1868), bien avant que rien de pareil fût venu à ma connaissance, je fus consulté par un jeune homme de vingt-trois ans, admirablement constitué et exempt de tout vice herpétique, qui était atteint aux deux pieds d'une éruption vésiculeuse, très-aiguë et très-douloureuse qui, au premier abord, aurait pu être prise pour un eczéma. Mais cette éruption offrait ceci de particulier, qu'elle était exactement bornée à la partie du pied que recouvre la chaussure, et qu'elle dessinait sur la peau la forme particulièrement régulière du soulier escarpin que portait le jeune homme, comprenant ainsi la face et le bord plantaires, et, ne dépassant pas, sur le dos du pied, la racine des orteils.

« Le siége et la forme si particulière de l'éruption m'avaient sur-le-champ donné à penser que la cause en était toute locale ; et je n'hésitai pas, en rechercher l'origine dans la chaussure que portait le jeune homme. Il venait de faire usage depuis quelques jours de chaussettes de soie rouge, » etc.

Ainsi guidé, M. Tardieu fit un extrait alcoolique de la substance rouge des chaussettes, et injectant une partie de cet extrait sous la peau de la cuisse d'un chien, d'un lapin et d'une grenouille, il ne tarda pas à voir mourir ces trois animaux. Faisant

[1] *Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 240.

ensuite l'autopsie des cadavres, M. Tardieu put retirer des poumons et du foie la matière colorante, et en teindre des écheveaux de soie. « La coralline, qui avait donné lieu à l'empoisonnement, a été décelée par sa propriété caractéristique de matière tinctoriale, tout comme le sont l'atropine ou la digitaline par le pouvoir qu'elles possèdent de dilater la pupille ou d'arrêter les battements du cœur. C'est là, on en conviendra, une nouvelle application, aussi heureuse qu'inattendue, de la méthode physiologique et expérimentale que je me suis efforcé de généraliser et de poursuivre dans la recherche des poisons organiques. »

En dernier lieu, M. Tardieu se préoccupe des effets pathologiques produits par la coralline; c'est ainsi qu'il fait remarquer que cette substance agit, comme l'huile de croton tiglium, en produisant une éruption vésiculeuse très-aiguë, et l'inflammation du tube digestif.

Tel était l'état de la question, lorsqu'en juin 1869, c'est-à-dire quatre mois après la publication du mémoire que nous venons d'analyser succinctement, M. A. Landrin, mon homonyme, publia un mémoire contradictoire, où il résumait les expériences nombreuses faites par lui et son frère, et, d'un autre côté, par MM. Babaut et Bourgougnon [1].

Les résultats produits par ces divers savants étaient négatifs; la coralline suivant eux n'agissait en aucune façon sur l'organisme.

« Soit que la coralline ait été donnée par la voie stomacale, en solution alcoolique ou mélangée à l'état pulvérulent à une très-petite quantité de viande, soit qu'elle ait été administrée par la méthode hypodermique, nos chiens étaient restés dans le plus parfait état de santé. Le seul fait que nous ayons noté était la présence du prétendu poison dans les matières fécales, d'où on put l'extraire et l'isoler.

« Point de diarrhée, de vomissements; ni fièvre, ni abattement. Nulle inflammation de la muqueuse buccale, quand l'animal avait pris la substance par la bouche, point de claudication après les injections sous-cutanées aux membres, ce qui nous étonna fort : car nous nous attendions à voir apparaître ces escarres que deux d'entre nous avaient produites sur des chiens et des chevaux, en

[1] *Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 1536.

expérimentant par cette méthode la vératrine et la conicine. »

Une assez grande quantité d'animaux furent soumis à des expériences analogues, et dans tous les cas, quel que fût le mode d'administration de la coralline, les animaux résistèrent. — L'autopsie de deux chiens que l'on crut devoir abattre au bout d'un certain temps, démontra de plus que presque toujours la matière était éliminée du corps par les urines, en un petit nombre de jours. C'est ainsi que les poumons du cheval qui avait absorbé 50 grammes de coralline, et qui avait été abattu sept jours après ce traitement, ne contenait plus de traces de matière colorante.

Là ne s'arrêtèrent pas les expériences de M. Landrin; expérimentant sur lui-même la coralline, il put se convaincre que des solutions alcooliques de cette substance étendues sur les bras ou les jambes n'agissaient en aucune façon sur l'organisme[1]. Il était très-important d'expérimenter dans ce cas particulier, car les dernières expériences étaient plus que concluantes, et il était désormais acquis à la science que la coralline n'agit en aucun cas comme matière toxique. Cependant il restait une objection à faire à ces expériences ; jusque-là, les auteurs du mémoire dont nous parlons avaient expérimenté avec de la coralline rouge et parfaitement pure et on peut voir qu'il n'en est pas de même dans les observations de M. Tardieu. En effet, dans tous les cas, il n'a mis en action que les substances tirées du commerce, substances qui souvent sont impures et peuvent contenir d'autres produits réellement vénéneux.

Pour répondre à ce dernier argument, M. Landrin opéra sur la coralline telle qu'elle se trouve dans le commerce, et plus récemment sur la coralline jaune; toutes les expériences donnèrent le même résultat et vérifièrent les conclusions que l'on avait tirées des premières observations.

Ainsi la coralline n'est pas un poison ; si elle a pu agir dans quelques circonstances comme matière vénéneuse, c'est qu'elle était probablement mêlée à d'autres corps possédant les mêmes propriétés toxiques ; du moins, nous ne pouvons nous expliquer autrement les résultats obtenus par M. Tardieu.

Quoi qu'il en soit, il résulte de cette discussion que les recher-

[1] M. Persoz nous a affirmé depuis, que pendant toute la durée de son travail sur la coralline, il n'avait jamais ressenti aucune trace de malaise.

ches toxicologiques présentent de sérieuses difficultés. Quand on pense au rôle important qu'elles ont à remplir soit au point de vue de la médecine légale, soit au point de vue industriel, on ne saurait trop recommander au chimiste chargé de pareilles recherches une extrême prudence. La moindre impureté dans un réactif, la manière d'administrer le poison, ou la matière soupçonnée de l'être, aux animaux sur lesquels on expérimente, peut faire varier les propriétés organoleptiques de la substance opérée, et induire le savant en erreur. Ces réflexions nous sont suggérées par les dernières observations de M. Landrin dans lesquelles il fait remarquer que l'alcoolat de coralline administré à des grenouilles, les tue, non pas à cause de la coralline, mais bien par la dose même d'alcool qu'on leur fait ainsi prendre. C'est du moins ce que prouvent des expériences faites parallèlement avec l'alcool pur et avec la coralline pure. Dans le premier cas seulement, les grenouilles ne résistent pas à l'action de la matière ingérée.

ED. LANDRIN.

III

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LABORATOIRE.

RÉGULATEURS DE TEMPÉRATURE. — POMPE DE SPRENGEL. — FILTRES INSTANTANÉS DE BUNSEN.

Si, dans ces dernières années, la chimie a fait des progrès considérables, si les résultats d'expérience se sont accumulés en aussi grand nombre, la cause en est due, pour une grande partie, aux perfectionnements apportés dans le matériel des laboratoires. La substitution du gaz au charbon de bois pour les chauffages ou les analyses organiques a été le point de départ de toute une série d'installations destinées à économiser le temps du chimiste, à le dispenser de mille détails fastidieux de manipulation, à lui permettre par là même de concentrer toute son attention sur l'expérience qu'il a en vue. Les nouveaux laboratoires de l'École normale, à Paris, et surtout ceux d'Heidelberg et de Berlin peuvent

à cet égard être cités comme les types les plus parfaits d'installations de ce genre.

Nous ne saurions songer à décrire ces laboratoires modèles dont l'agencement est forcément très-coûteux. La disposition d'un laboratoire varie d'ailleurs complétement suivant le nombre des travailleurs qui le fréquentent, l'ordre de recherches dont ils s'occupent et, à ce titre, chaque chimiste est seul compétent pour créer son outillage. Toutefois, nous croyons qu'il peut ne pas être sans intérêt pour les lecteurs de l'*Annuaire* de leur signaler quelques appareils récemment introduits dans la pratique, que chacun peut installer à très-peu de frais et dont nous avons pu vérifier maintes fois la sérieuse utilité.

Avec les anciens fourneaux au charbon, l'irrégularité même de la combustion rendait très-délicat, pour ne pas dire impossible, le maintien d'une température constante, comme l'exigent les dessiccations, les analyses organiques, etc. Même avec le gaz, les difficultés sont encore assez grandes et exigent une surveillance attentive de la part de l'opérateur. Plusieurs savants se sont préoccupés des moyens de régler automatiquement la température produite. Parmi les nombreux appareils proposés ou essayés pour réaliser cette condition, nous nous bornerons à citer ceux de MM. Hipp et Schlœsing, dans lesquels l'admission du gaz augmente ou diminue, indépendamment de toute surveillance, suivant que la température tend à descendre au-dessous de la température fixée ou à la dépasser.

Dans le dispositif de Hipp, l'étuve qu'on veut maintenir à température constante est montée sur un double fond dans lequel circule l'eau chauffée par un bec de gaz. Le gaz, avant d'arriver sous l'étuve, traverse une chambre dans laquelle débouchent le tuyau venant de la conduite générale et celui qui communique avec le brûleur. Le premier de ces tuyaux est vertical, et un cône allongé peut obstruer plus ou moins complétement le passage du gaz. On comprend qu'il suffira de commander le levier qui porte le cône par l'action de la température elle-même de l'étuve pour régler le débit du gaz et par suite la chaleur développée. A cet effet, dans l'intérieur de l'étuve est fixée une lame recourbée en U, constituée intérieurement de cuivre, extérieurement d'acier. En vertu même de l'inégalité de dilatation des deux métaux, et l'une des extrémités de la lame étant fixe, l'autre branche s'écar-

tera plus ou moins suivant la température de l'étuve, et il suffit de relier cette extrémité par un fil métallique au levier que porte le cône obturateur, pour assurer le jeu de ce dernier.

L'appareil de Hipp ainsi disposé ne se prête bien à régler que de faibles températures ; d'autre part, en vertu même de la masse d'eau destinée à transmettre la chaleur, il est assez longtemps à se régler (4 heures environ) ; mais, à partir de ce moment, il est extrêmement sensible. Ainsi, à l'observatoire de Neubourg, où on l'a employé pour la vérification des chronomètres, on a constaté que les variations extrêmes de température de l'enceinte n'atteignaient jamais plus d'un demi-degré.

L'appareil imaginé par M. Schlœsing pour les laboratoires des Manufactures de l'État est encore plus précis et moins coûteux. Quelques tubes en verre et quelques raccords en caoutchouc suffisent pour le constituer. Le gaz arrive de la conduite générale par un petit tube de verre à bords bien dressés dans l'intérieur d'une ampoule d'où un autre ajutage le conduit au brûleur. Immédiatement au-dessous du tube d'amenée de gaz débouche dans l'ampoule l'extrémité d'un autre tube fermé par une membrane élastique et rempli de mercure. La partie de ce tube formant réservoir est placée dans l'enceinte dont on veut maintenir la température constante et les dilatations du mercure ont pour effet de soulever et de distendre la membrane précitée. Un petit raccord en verre muni d'un robinet et surmonté d'un entonnoir communique d'ailleurs avec le réservoir à mercure. Pour se servir de l'appareil, on l'emplit de mercure et on chauffe l'étuve. Le mercure se dilate et, le petit robinet fixé sur le raccord étant ouvert, une partie du métal passe dans l'entonnoir. Lorsque la température de règle est atteinte, on ferme le robinet et à partir de ce moment l'appareil fonctionne automatiquement. Dès que la température tend à s'élever, le mercure emprisonné ne peut se dilater qu'en distendant la membrane élastique qui vient obturer l'orifice d'admission du gaz et le maintient fermé tant que la chaleur n'est pas revenue dans l'étuve au degré normal. Toutefois, l'appareil ainsi disposé offrirait dans la pratique un grave inconvénient. En supprimant complétement l'arrivée du gaz, la lampe s'éteint, et il faudrait la rallumer à chaque instant. Cette difficulté est prévenue par un artifice très-simple. Au lieu de faire appliquer la membrane directement sur l'orifice d'arrivée du gaz, M. Schlœsing interpose une

petite lamelle de bois sur laquelle est creusé un étroit canal. Il en résulte que quand la lamelle s'applique contre l'orifice, il reste encore au gaz un petit passage, et le débit, tout en étant notablement réduit, est encore suffisant pour que la lampe ne s'éteigne pas. — Nous avons vu des appareils de ce genre fonctionner des mois entiers, sans qu'on eût besoin d'y toucher, sans qu'au bout de ce temps ils eussent rien perdu ni de leur sensibilité ni de leur précision.

Dans l'*Annuaire scientifique* de 1869, au sujet des travaux de Graham, un de nos collaborateurs a consacré quelques lignes à la pompe de Sprengel. Cet admirable instrument, qui permet d'obtenir le vide presque absolu et qui n'est en principe qu'une pompe barométrique, est aujourd'hui employé dans tous les grands laboratoires d'Angleterre et d'Allemagne, et nous ne doutons pas, quand il sera mieux connu, qu'il ne soit également adopté par les chimistes français. Dans ses célèbres travaux sur l'analyse des eaux[1], Frankland a pu, à l'aide de l'appareil de Sprengel, recueillir l'intégralité des gaz produits dans ses analyses organiques, et réduire pendant toute la durée de l'opération la pression dans le tube à combustion à un millimètre de mercure, c'est-à-dire maintenir le vide absolu.

Bunsen a modifié la pompe de Sprengel de façon à produire l'aspiration à l'aide d'un courant d'eau au lieu de mercure comme dans l'appareil primitif. Bien que, dans ces conditions, la pompe ne puisse plus donner le vide que jusqu'à 5 ou 6 millimètres, c'est-à-dire jusqu'au chiffre qui exprime la tension de la vapeur d'eau à la température où se trouve maintenue la salle, la modification apportée par Bunsen a l'avantage de mieux se prêter à beaucoup des travaux habituels d'un laboratoire. Il va de soi d'ailleurs que, dans ce cas, le tuyau d'écoulement des liquides, au lieu d'avoir $0^m,76$ comme dans la pompe à mercure, doit avoir $10^m,33$ de hauteur, pour que le vide barométrique s'établisse toujours et se maintienne à la partie supérieure.

Nous ne décrirons pas ici en détail les dispositifs adoptés par Bunsen et que le lecteur trouvera dans les revues spéciales[2], mais

[1] *Journal of the Chemical Society*. London, mars 1868.

[2] Consulter notamment la revue allemande *Annalen der Chemie und Pharmacie*, 1868.

nous indiquerons l'une des précieuses applications faites par Bunsen de ce nouveau mode de production du vide: nous voulons parler de la filtration par le vide.

Dans un filtre ordinaire, l'écoulement s'effectue en vertu de la charge du liquide et, comme la hauteur de ce dernier est généralement très-faible, la durée de la filtration est elle-même assez longue. Cette durée serait incomparablement plus courte si l'écoulement du liquide, au lieu de s'effectuer sous une charge de 2 ou 3 centimètres, était dû à une pression de plusieurs mètres d'eau, si au-dessous du filtre était, par exemple, un espace dans lequel on maintiendrait le vide barométrique. Ce moyen d'accélérer la filtration en faisant le vide pour appeler les liquides a été maintes fois appliqué en industrie, notamment dans les raffineries de sucre pour le terrage et le blanchiment des pains. C'est la même idée que Bunsen a utilisée pour les travaux de laboratoire. Un ballon destiné à recevoir les liquides filtrés est muni d'un bouchon en caoutchouc percé de deux trous. Par l'un de ces trous passe la pointe de l'entonnoir qui reçoit les matières à filtrer; par l'autre, le ballon est mis en communication avec la pompe de Sprengel dont il a été question plus haut. Il suffit alors d'ouvrir le robinet d'admission d'eau dans la pompe pour que le vide se fasse dans le ballon et que la filtration s'opère en vertu de l'excès de la pression atmosphérique.

Toutefois, la charge assez forte à laquelle se trouve ainsi soumis le filtre en papier, aurait pour conséquence à peu près inévitable de le déchirer, si l'on ne prenait quelques précautions spéciales pour en soutenir la pointe. Bunsen recommande d'opérer ainsi qu'il suit. Après avoir choisi un entonnoir bien régulier, on fait avec du papier à écrire un peu fort, un filtre s'adaptant aussi exactement que possible sur l'entonnoir. Ce filtre est imprégné d'huile, mis dans l'entonnoir, et on y verse du plâtre gâché liquide. Au bout de quelque temps, le plâtre a fait prise ; on le retire de l'entonnoir avec son enveloppe de papier, on graisse de nouveau la surface extérieure de celle-ci, et on plonge le tout dans une capsule en porcelaine contenant également du plâtre gâché. Lorsque ce dernier est solidifié, on sépare les moules extérieur et intérieur ainsi obtenus et, en frottant, on détache le papier resté adhérent à leur surface. On prend ensuite une feuille de platine mince qu'on taille en cercle de 15 mil-

limètres environ de rayon, sur le patron d'un filtre coupé suivant une arête. La feuille de métal est ramollie à la chaleur et enroulée encore chaude sur le moule intérieur en plâtre. Au besoin, un grain d'alliage assure la réunion des deux lèvres du platine. Le cône en métal étant bien maintenu sur le premier moule, on applique par-dessus le moule creux, et, en tournant, on fait disparaître toutes les inégalités ; on obtient ainsi un cône fermé à la pointe qui épouse exactement la forme des filtres, et qui, introduit dans l'entonnoir, soutient efficacement le papier sans s'opposer à la filtration. Il va de soi d'ailleurs qu'une fois cette pièce de platine préparée, elle peut servir indéfiniment pour tous les entonnoirs de même calibre. — Lorsqu'on veut opérer une filtration, l'entonnoir étant monté sur le ballon, on dispose au fond le cône de platine, et on place par-dessus le filtre de papier comme d'habitude, on verse les matières à filtrer, et on fait le vide dans le ballon, en ouvrant son robinet de communication avec la pompe. Au bout de quelques instants, le liquide du filtre coule d'une manière continue, et les matières solides du précipité forment à la surface du papier une couche uniformément répartie, et assez adhérente pour qu'en versant de l'eau dessus on ne puisse la remettre en suspension. On achève d'ailleurs de laver le précipité en ajoutant à deux ou trois reprises de l'eau distillée sur le filtre.

La méthode de filtration que nous venons d'indiquer offre de précieux avantages. En premier lieu, les précipités se trouvant ainsi dépouillés de toute l'eau qu'ils retiennent dans la méthode ordinaire, on peut immédiatement les incinérer sans être obligé de les dessécher au préalable. D'autre part, lorsqu'on est en présence de précipités volumineux, gélatineux, leur volume se réduit beaucoup par le fait de la filtration sous pression, et les manipulations sont incomparablement plus faciles. Enfin, en vertu même de la pression exercée, on peut filtrer des liquides dont la viscosité s'opposerait à l'emploi des méthodes ordinaires. Ainsi, en se servant de papier gris ordinaire, on peut séparer directement du miel les cristaux de sucre cristallisé qu'il renferme.

Bunsen a fait un grand nombre d'expériences, dans les conditions les plus variées, pour vérifier la valeur et l'exactitude de son nouveau procédé de filtration. Nous nous bornerons à en

citer une comme exemple. On traita des quantités égales de perchlorure de chrome par l'ammoniaque, et on soumit aux diverses méthodes de filtration les différents précipités obtenus. Avec la méthode ordinaire, la filtration était pour ainsi dire impossible ; les liquides passaient toujours troubles. Le lavage du précipité par décantation exigea près de deux heures, et fournit plus d'un litre d'eaux-mères. Avec la pompe de Sprengel, la filtration et le lavage du précipité ne durèrent que douze minutes et donnèrent moins de 40 grammes de liquides. Du reste, l'épuisement du précipité était beaucoup plus parfait que dans le premier cas.

Pour quiconque s'occupe de chimie, ces résultats sont trop nets, pour qu'il soit utile d'insister davantage sur la valeur de la méthode de Bunsen. Ajoutons d'ailleurs que ce procédé de filtration peut s'appliquer avec grand avantage, même avec des pressions inférieures à celles que permet d'atteindre la pompe de Sprengel. Il suffit, par exemple, de prendre deux flacons portant vers le bas des tubulures munies de robinets et réunies par un long tube en caoutchouc, de remplir d'eau l'un d'eux, de le boucher, et de le placer à un niveau de 1^{m}, 50 ou 2 mètres au-dessus de l'autre, pour qu'en établissant la communication entre les deux on obtienne un vide déjà très-marqué dans le flacon supérieur. Cet appareil extrêmement simple, que chacun peut disposer sans frais, pourra, dans beaucoup de cas, remplacer la pompe de Sprengel pour les filtrations, et permettre à tous les chimistes d'appliquer l'ingénieuse idée de Bunsen pour leurs propres travaux.

E. M.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

INDUSTRIES DE L'EMPIRE CHINOIS.

PAR MM. STANISLAS JULIEN ET PAUL CHAMPION [1].

Malgré les merveilles innombrables de notre industrie, nous avons continuellement sous les yeux des produits de fabrication

1 vol. in-8. Eugène Lacroix, éditeur.

orientale, que nous sommes impuissants à imiter, et parmi ces produits, il faut citer en première ligne ceux qui proviennent de l'extrême Orient et de la Chine. Les habitants du Céleste-Empire nous envoient des porcelaines, des bronzes, des émaux, du vermillon, de l'encre de Chine, des étoffes justement recherchés et dont il est intéressant de connaître la fabrication. M. Paul Champion, préparateur de chimie au Conservatoire des arts et métiers, a résolu d'aller en Chine étudier sur place toutes les industries des fils du Ciel. Il est revenu chargé de documents précieux, et d'une ample provision de faits qu'il vient de réunir en un ouvrage aussi curieux qu'instructif. Malgré son désir de tout voir, de tout connaître, de tout approfondir, M. Champion n'a pas toujours pu pénétrer dans les usines des industriels chinois, méfiants, soupçonneux, et pour rendre son ouvrage plus complet, il s'est associé à notre savant linguiste, M. Stanislas Julien. Celui-ci a complété, par la lecture de livres chinois, ce que M. Champion n'a pu trouver en Chine. Chose singulière, un livre chinois, remontant au treizième siècle, et étudié par M. Stanislas Julien, renferme la description d'industries qui n'ont subi aucun perfectionnement depuis cette époque reculée. M. Champion, pour quelques fabrications, a vu en Chine, des procédés grossiers, élémentaires, que M. Stanislas Julien trouve décrits dans un livre qui remonte à plusieurs siècles.

M. Paul Champion a très-sérieusement étudié en Chine la fabrication des tams-tams, qui défie aujourd'hui nos plus habiles ouvriers, par leur remarquable sonorité. Il indique tout au long la fabrication de ces instruments curieux. Il a visité des fabriques de papier, de thé, des fonderies, des usines métallurgiques, et il a rapporté en outre une infinité de renseignements utiles, de recettes précieuses, qui intéressent en France bien des fabricants.

On s'étonne en lisant ce livre de cette industrie, naïve, élémentaire, quant aux moyens, féconde, riche, puissante, quant aux produits obtenus; singulier peuple que les Chinois, si patients, si intelligents, si travailleurs, mais qui aujourd'hui font encore ce qu'ils faisaient il y a mille ans, et qui semblent résister avec une singulière énergie à cette loi du progrès qui gouverne les peuples civilisés.

L'ouvrage de MM. Stanislas Julien et Paul Champion est en-

richi de belles gravures reproduites d'après des documents originaux; il ne manquera pas d'intéresser tous ceux qui, avides de suivre les phases progressives de notre industrie occidentale, seront curieux de jeter un regard sur cette singulière routine qui règne dans l'extrême Orient. Le lecteur trouvera au milieu de procédés naïfs, bien des enseignements qui ne sont pas déplacés en Europe, c'est ainsi que l'agriculteur français fera bien de lire le chapitre consacré aux engrais et aux méthodes d'irrigations usitées chez les Chinois. Il devra reconnaître en toute humilité que le cutivateur du Céleste-Empire est son maître depuis des milliers d'années.

G. T.

MÉDECINE

I

MORTALITÉ DES NOUVEAU-NÉS.

De la mortalité des nouveau-nés en France. — Dr Brochard. — Dr Monot. Dr Bouchut. — Dr Bertillon. — Discussion de l'Académie de médecine, 1866 et 1869. — Société protectrice de l'enfance. — Crèches, etc.

I

STATISTIQUE. — CAUSES DE LA MORTALITÉ DES NOUVEAU-NÉS.

« En France, il y a 922,704 naissances annuelles. La mortalité de ces nouveau-nés de un jour à un an pourrait n'être que de 46,135 ; elle est de 166,811 ; 120,656 enfants sont donc victimes, chaque année, des procédés barbares qui sont mis en pratique dans notre pays pour élever les enfants du premier âge. »

Telles sont les tristes paroles que M. Boudet a prononcées à la tribune de l'Académie de médecine ; pour lui, il meurt par an 120,000 nouveau-nés *de trop*. A l'Académie, personne n'a pu opposer une objection à ces chiffres lamentables, et alors même que quelque statisticien parviendrait à en retrancher quelques milliers, il n'en resterait pas moins certain que la France paye en nouveau-nés un impôt du sang bien plus lourd que celui de la conscription, car chaque année plus de 100,000 enfants meurent en France, avant un an, faute de soins et de nourriture.

Voyons quelles sont les causes de cette affreuse mortalité, ses conséquences, et les moyens capables de l'atténuer.

En France, la mortalité moyenne de tous les enfants de un jour à un an est, d'après M. Husson, de 18,08 pour 100. Le séjour des villes est moins favorable aux enfants que celui de la campagne, et la moyenne donne :

	NAISSANCES.	DÉCÈS	MORTALITÉ POUR 100.
Population urbaine.	249,847	45,766	18,32
Population rurale	672,857	121,045	17,96
Totaux.	922,704	166,811	18,08

La différence serait probablement beaucoup plus grande, si les enfants nés dans les villes y étaient tous élevés. Mais dans un grand nombre d'entre elles, on a l'habitude d'envoyer une partie des enfants en nourrice à la campagne. Or, lorsque ces nourrissons meurent, ils sont inscrits dans les départements, et la statistique de mortalité de la ville se trouve allégée de toutes les morts survenues à la campagne. Ce qui montre qu'il en est bien ainsi, c'est ce que l'on constate à Paris ; cette ville envoie à la campagne un nombre d'enfants proportionnellement beaucoup plus considérable que les autres, aussi le résultat est précisément inverse. La mortalité des enfants de un jour à un an est moins forte pour Paris, 16,30 pour 100, qu'elle ne l'est pour les communes rurales de la Seine, 17,98 pour 100. Or Paris se débarrasse tous les ans de la moitié de ses nouveau-nés, et le plus grand nombre n'est pas élevé dans le département de la Seine, mais dans des pays beaucoup plus éloignés. S'il en était autrement, le chiffre de mortalité des nouveau-nés à Paris et dans les communes rurales de la Seine serait infiniment plus élevé.

Pour comprendre les causes de la mortalité des nouveau-nés, et pour concevoir les moyens de la diminuer, il faut procéder à une sorte d'enquête. Nous prenons Paris pour exemple.

Paris compte en moyenne par an 53,335 naissances (moyenne de 1860 à 1865). Ces nouveau-nés peuvent être rangés dans deux classes, à peu près égales numériquement.

Les uns sont allaités par leur mère ou par des nourrices habitant à Paris le domicile des parents (nourrices sur lieu). — Les autres sont envoyés hors de Paris, et confiés à des nourrices de la campagne.

Les enfants allaités par leur mère ou par des nourrices sur lieu sont manifestement dans des conditions bien meilleures que les seconds. Cependant, lorsque l'on sait que la population des nourrissons parisiens est diminuée des deux cinquièmes ou même de la moitié, par l'émigration en province, on est étonné de voir que la mortalité de un jour à un an, calculée sur la totalité des naissances, reste à Paris de 16,30 pour 100. Il est évident que si on la rapportait au chiffre des enfants élevés réellement à Paris, cette proportion monterait à 28 ou 29 pour 100. On ne peut expliquer cette grande mortalité chez des enfants, d'ailleurs bien soignés, que par les épidémies de fièvres éruptives, de coqueluche, de croup, etc., qui règnent à Paris d'une manière permanente.

Les enfants confiés à des nourrices de campagne sont au nombre de 18,000, d'après M. Husson, de 27,000, d'après le docteur Vacher. Ces chiffres peuvent être regardés comme exprimant les limites extrêmes de l'émigration des nourrissons. M. Bertillon, l'un de nos statisticiens les plus éminents, porte ce chiffre à 23,000. La mortalité de ces nourrissons, dans la première année, est de 10,900, soit près de la moitié.

Il faut que cette proportion diminue, et cela est possible, car les chiffres de la mortalité varient suivant la catégorie à laquelle appartiennent les nourrices, et suivant le pays qu'elles habitent. C'est donc surtout contre des habitudes locales qu'il faudra lutter pour atténuer un tel résultat. On doit distinguer les nourrissons envoyés à la campagne en plusieurs classes : 1° Enfants placés par la direction générale des nourrices (*grand bureau*). Cette direction est sous la dépendance de l'assistance publique. 2° Enfants assistés, comprenant les enfants trouvés, abandonnés, les orphelins, etc. 3° Les enfants placés par l'intermédiaire des bureaux particuliers (*petits bureaux*). Nous joignons à ceux-ci les enfants placés par les parents, sans intermédiaires, de gré à gré.

M. Husson, directeur général de l'assistance publique, a donné à la tribune de l'Académie des renseignements précis sur l'orga-

nisation de la direction des nourrices, et sur les résultats qu'obtient ce bureau dit *grand bureau*.

Le *grand bureau* a pour mission de procurer aux mères de famille des nourrices dont la santé, la moralité et la position ont été préalablement constatées, et d'assurer en même temps à ces femmes la parfaite intégrité de leurs salaires.

Le grand bureau place des nourrissons dans cinq départements : Aisne, Orne, Somme, Yonne, Eure-et-Loir. La direction est représentée dans tous les arrondissements où elle place des enfants par un agent spécial (sous-inspecteur). Ce sous-inspecteur choisit les nourrices, de concert avec des médecins désignés par l'administration, et les envoie à Paris avec des surveillants de son choix. Le sous-inspecteur surveille les nourrices, visite les enfants, correspond avec les médecins, les autorités locales et l'administration centrale. C'est lui qui fait tous les payements.

Des médecins nommés dans chaque canton visitent les nourissons au moins une fois par mois, et, en cas de maladie, aussi souvent qu'il est nécessaire. De plus, sous-inspecteurs, médecins, nourrices, nourrissons, sont surveillés par des inspecteurs.

Les nourrices, de leur côté, s'engagent à nourrir les enfants qu'on leur confie de leur propre lait, à en prendre tous les soins convenables, à ne point accepter d'autre nourrisson, et à appeler le médecin s'ils sont malades. Toute nourrice qui vient chercher un nourrisson à Paris doit être munie d'un certificat constatant : qu'elle est de bonnes vie et mœurs, qu'elle a un garde-feu et un berceau, qu'elle a sevré son enfant, dont l'âge est fixé par l'extrait des registres de l'état civil, et qu'elle n'a pas d'autre nourrisson. Elle part, après avoir subi deux visites de deux médecins différents.

Elle arrive à Paris sous une surveillance spéciale ; elle est de nouveau examinée par un médecin des hôpitaux.

Est-il possible de demander plus de garanties?

Malgré tous ces soins, de 1838 à 1859, la mortalité moyenne de un jour à un an, pour les enfants du grand bureau, est de 29,71 pour 100 ; de 1859 à 1864, de 30,02 pour 100. En 1864, ce chiffre a même atteint 40 pour 100. La moyenne pour les six dernières années est de 33,93 pour 100 : soit un tiers environ.

Ce résultat est encore bien peu satisfaisant, lorsqu'on le compare à la mortalité des enfants dans toute la France, 18 pour 100,

et à celle de la mortalité dans certains départements, 11 pour 100 (Creuse). Il faut remarquer de plus que les enfants confiés à la surveillance de la direction des nourrices se composent pour les trois quarts d'enfants légitimes, et d'un quart seulement d'enfants illégitimes. Or la mortalité de ces derniers est bien plus considérable. Pour la France entière, la mortalité des enfants légitimes est de 16,455, celle des enfants illégitimes de 32,125 pour 100, du double. La position de la direction des nourrices n'est donc pas trop défavorable, et cependant il meurt un tiers des nouveau-nés.

Pour les enfants assistés du département de la Seine, qui sont au contraire dans les conditions inverses, les plus défavorables (illégitimité, maladie ou mort des parents, etc.), la mortalité est bien plus grande. De 1839 à 1858, elle est de 58,88 pour 100 dans la première année. En 1864, elle n'est plus que de 39,26 pour 100. Elle est donc encore plus que double de la mortalité moyenne des enfants nouveau-nés en France. Mais que dire en lisant le triste bilan de la mortalité des enfants assistés en France, de un jour à un an, tel que l'a fourni M. Husson.

Mortalité des enfants assistés, de 1 jour à 1 an.

Loire-Inférieure	90,50	p. 100
Seine-Inférieure	87,36	—
Eure	78,12	—
Calvados	78,09	—
Aube	70,27	—
Seine-et-Oise	69,23	—
Côte-d'Or	66,46	—
Indre-et-Loire	62,16	—
Manche	58,66	—

En lisant cette liste, on ne peut que rendre hommage à la direction centrale de Paris, qui a su réduire la mortalité des enfants assistés de Paris à 39,26 ; mais que d'efforts ne reste-t-il pas à faire ?

D'ailleurs on découvre facilement, en étudiant ce tableau, que dans certaines provinces, la Normandie par exemple, le coefficient de mortalité est très-considérable. Or, il est manifeste que les habitudes de ces pays en sont la cause. L'allaitement naturel est remplacé par l'élevage *au petit pot*. Voici, sur ce procédé, des

détails que j'emprunte au docteur Lemonnier. La nourriture se faisait d'abord au moyen d'un petit pot en fer-blanc. Depuis longtemps, on a substitué à ce petit pot un biberon d'étain, les biberons en verre étant trop fragiles ; on en garnit le bout avec un chiffon. Ce biberon d'ailleurs n'est pas en étain pur, c'est un alliage dans lequel le plomb entre pour la moitié.

On le remplit soit de lait de chèvre, soit de lait de vache coupé avec l'eau puisée dans la mare voisine, et on le maintient sur les cendres chaudes jusqu'à ce qu'il ait été vidé. Le lait, aigri pendant son séjour dans le tube mal nettoyé, aigri sur le chiffon qui enveloppe le bout de l'appareil, se charge de lactate de plomb et devient ainsi un véritable poison.

Sous l'influence d'une telle alimentation, ce ne sont pas seulement les enfants assistés qui meurent en proportion épouvantable, mais tous les nouveau-nés indistinctement. Aussi, dans ces départements, dont les terres sont fertiles, le climat excellent, la population diminue d'une façon très-notable. (Seine-Inférieure, Eure, Calvados, Orne, Manche.)

Nous venons de traduire en chiffres la mortalité des enfants nouveau-nés confiés au grand bureau et aux enfants assistés. Étudions maintenant la mortalité des enfants *envoyés en nourrice par les petits bureaux* ou confiés directement à des femmes de la campagne par les familles.

Il est à peu près impossible d'obtenir sur le nombre de ces enfants des renseignements précis. D'après M. Husson, qui a donné les chiffres les plus bas, on peut admettre que 9,500 enfants sont placés par les petits bureaux, et 3,000 placés de gré à gré par les familles.

M. Blot, le rapporteur de la commission académique, n'a donc pu, en l'absence de renseignements précis, donner que le chiffre moyen de cette mortalité, mais à ses yeux comme à ceux de M. Husson et de l'Académie, c'est un minimum, et ce minimum est de 51, 68 pour 100! plus de la moitié.

Bien des causes expliquent un si triste résultat. Nous avons vu quelles étaient les garanties offertes aux familles par le grand bureau municipal. Aucune d'entre elles n'existe pour les enfants placés par les petits bureaux. Pas de service d'inspection, pas de visites médicales, les soins médicaux sont ici à la charge des familles, qui en payent souvent bien plus que les nourrissons n'en

ont reçu. M. le docteur Brochard, qui a exercé pendant vingt ans dans le Perche, au milieu d'une population qui fournit un grand nombre de nourrices aux divers bureaux de Paris, a eu le mérite de dévoiler les fraudes de ces femmes, et le véritable courage de montrer comment dans quelques communes l'autorité municipale se faisait souvent la complice de ces scandaleux procédés.

Un article de règlement de police du 26 juin 1842 prescrit d'inscrire sur le certificat des nourrices la date exacte de la naissance de leur enfant. Le but de cette mesure est d'empêcher de confier un nourrisson à une femme accouchée depuis trop longtemps ou depuis trop peu de temps. Souvent cet article est violé. La femme prie le maire de sa commune ou son secrétaire de *rajeunir ou de vieillir son lait*, c'est l'expression consacrée, c'est-à-dire qu'elle fait changer la date de la naissance de son enfant. Cet acte de complaisance est rarement refusé, dit M. Brochard, et un certificat qui change de plusieurs semaines, quelquefois même de plusieurs années, l'âge d'un enfant, et qui est revêtu du cachet de la mairie, est remis par un maire à une nourrice, pour l'aider à commettre une fraude capable d'entraîner la mort d'un nouveau-né. M. Donné a emprunté à la *Gazette des Tribunaux* un fait semblable, les débats n'ont laissé aucun doute sur la coupable complaisance de l'autorité municipale (5 août 1841, Cour d'assises de la Seine).

Quelques-uns des maires acceptent si bien cètte industrie meurtrière, qu'ils ne font aucun effort pour y apporter la moindre surveillance. M. Brochard rapporte qu'un jour il engageait l'un d'eux à s'opposer dans sa commune à l'exploitation immorale des nourrissons dont, suivant la propre expression du maire, *les cadavres pavaient son cimetière*. « Je sais bien, répondit-il, que ces enfants sont voués à la mort, mais que voulez-vous, *c'est le bien-être de ma commune*. Sans les nourrissons, ces femmes tomberaient à la charge du bureau de bienfaisance. »

Pour comprendre d'ailleurs cette immense mortalité, il fau étudier la vie du nourrisson, du *petit Parisien*, ainsi qu'on le nomme à la campagne depuis son départ de la maison paternelle jusqu'à son arrivée à la maison de la nourrice.

Les nourrices sont dirigées sur Paris et ramenées dans leur pays par des hommes nommés *meneurs*, chargés de recruter

dans les campagnes des nourrices pour les petits bureaux, et trop souvent de pauvres filles pour d'autres maisons.

Peu leur importe la qualité de la nourrice, ils ont intérêt dans le placement, et cherchent à en multiplier le nombre. Une fois que la nourrice a un nouveau-né, elle retourne dans son pays. Aujourd'hui, le chemin de fer a abrégé une partie de la distance, mais qui de nous n'a été tristement impressionné en voyant un convoi de nourrices l'hiver dans ces wagons de troisième classe, mal clos, où se trouvent entassés, nourrices, enfants, fumeurs, gens ivres, etc. Et ce n'est encore que le parcours le plus facile, il reste à franchir la distance qui sépare le chemin de fer du village.

« Je n'ai jamais rencontré sur les routes du Perche, dit le le docteur Brochard, sans une vive émotion ces longues voitures de meneurs, dans lesquelles sont entassés pêle-mêle comme des animaux revenant du marché, nourrices et nourrissons revenant de Paris. Ces pauvres enfants, tout mouillés encore des larmes de leurs mères, sont aux yeux de tous, tellement voués à une mort prochaine, que le véhicule grossier qui les renferme s'appelle, dans les campagnes, le *purgatoire*. Cela veut dire qu'en sortant de cette voiture pour entrer chez leurs nourrices, ils vont dans le ciel ; en d'autres termes, qu'ils meurent. »

Une fois arrivé, si la nourrice est bonne, le petit Parisien peut échapper à la mort, mais souvent, surtout si la nourrice a de belles apparences, elle se hâte de retourner à Paris chercher un autre nourrisson, laissant le premier à la garde de quelque vieille femme, quelquefois même à celle de vieillards impotents. On les élève au biberon jusqu'à ce que l'inanition et la diarrhée viennent les enlever. J'ai vu, dit encore M. Brochard, des nourrices prévoyantes abandonner un petit Parisien à l'agonie, sans soin, sans secours, et aller à Paris chercher un second nourrisson avant que le premier n'eût rendu le dernier soupir, *afin de ne pas perdre leur lait.*

J'ai pendant dix-huit ans, dit M. Brochard, observé un fait qui m'a frappé, et que dans l'intérêt de la morale je crois devoir publier. Dans certaines communes pauvres, toujours éloignées du chef-lieu judiciaire de l'arrondissement, on voit des femmes et des filles qui ont dans toute la contrée la réputation bien méritée d'être de très-mauvaises nourrices. Chez elles les nour-

rissons ne font que paraître et disparaître. Eh bien ! ces femmes ont toujours des nourrissons ; ces nourrissons sont presque toujours des enfants de filles, et ces nourrices sont toujours parfaitement et régulièrement payées. Un tel fait se reproduisant d'une façon identique sur divers points d'un arrondissement, ne saurait être l'effet du hasard ; il est entièrement le résultat d'un calcul. Il est évident pour le médecin, que ces femmes chez lesquelles les enfants meurent sont connues, recherchées de certaines maisons de la capitale, que leurs services même y sont très-appréciés.

« Je ne connais qu'excessivement peu de bonnes nourrices, dit le docteur Gallopin ; j'en connais beaucoup de très-mauvaises. Il en est qui font de cela métier depuis dix, douze, quinze ans, *qui ont toujours des nourrissons et qui n'en ont jamais rendu aux parents.* »

Ajoutez à ces causes de mortalité provenant d'une mauvaise alimentation, les accidents survenus par défaut de surveillance, parmi lesquels les brûlures sont les plus fréquents. Car si le règlement veut que la nourrice ait un garde-feu, il est bien rare qu'il soit devant le foyer.

Ainsi ces malheureux naissent dans de mauvaises conditions, soit à l'hôpital où les accidents par infection sont si fréquents, soit chez des parents peu fortunés. On les transporte ensuite sans égard possible pour le froid, l'humidité, dans un pays éloigné. Le trajet dure toujours plusieurs heures. Or l'influence du froid sur les nouveau-nés est tellement avérée, que l'administration à Paris n'exige plus, depuis un an, le transport des enfants à la mairie, mais délègue des médecins pour faire au domicile paternel les constatations de l'état civil. Il est vrai que cette réforme était demandée depuis fort longtemps, qu'en 1829, MM. Villermé et Milne-Edwards avaient démontré que l'influence du froid était une des causes les plus importantes de la mortalité des nouveau-nés. Espérons que nous n'attendrons pas quarante ans de nouvelles réformes.

Lorsque le nouveau-né a échappé aux accidents des premiers jours, milieu hospitalier, froid du voyage, et qu'il se trouve installé au foyer de la nourrice, si la nourrice est bonne, avons-nous dit, sa vie est à peu près assurée. Mais même alors qu'elle est dévouée à son nourrisson, son ignorance vient créer de nouveaux dangers. Il est une habitude pernicieuse contre laquelle

tous les médecins ont toujours lutté, mais, hélas ! sans succès; je veux parler de l'*alimentation prématurée*. Ce n'est pas seulement à la campagne, mais à la ville, que l'on voit donner à des enfants de deux mois, et même moins, de la pâtée, des pommes de terre, etc. De là ces diarrhées cholériformes qui enlèvent les enfants en quelques jours, et pour lesquels il n'est qu'un remède : le sein d'une bonne nourrice.

Tels sont les dangers auxquels est exposé le petit Parisien. Les chiffres prouvent encore mieux que les tristes exemples que nous avons cités, que c'est par ces causes complexes indépendantes de lui-même, de sa constitution et du milieu climatérique où il est élevé, que meurt le petit Parisien. M. Brochard a montré que dans la même localité, la mortalité des enfants nés dans le pays est de 22 pour 100, celle des enfants qui y sont transportés est de 36 à 40 pour 100. On ne peut donc invoquer ni les épidémies ni la dureté du climat.

Nous venons de rapporter les faits qui témoignent de la négligence des nourrices et des populations qui les fournissent. Il est consolant de pouvoir dire que quelques-unes de ces femmes font preuve parfois de sentiments très-élevés. Souvent, surtout quand le nourrisson est l'enfant d'une fille-mère, les mois de nourrice ne sont pas payés ; au bout de un, deux, trois mois, la mère a disparu, et toutes recherches pour la retrouver sont vaines ; ou bien, on trouve les parents, mais leur misère est telle, qu'il leur est impossible de fournir l'argent nécessaire. Dans ces cas fréquents, la nourrice ramène l'enfant à la famille, ou, à son défaut, le met aux enfants assistés. Parfois aussi, il s'est développé chez la nourrice une tendresse si grande pour son nourrisson, qu'au risque d'augmenter les charges d'une famille souvent nombreuse et toujours nécessiteuse, elle le garde, l'élève comme son enfant. Il y a un être de plus dans la famille. Ce sont là des traits d'héroïsme qu'il faut louer, que l'on peut admirer, mais sur lesquels il ne faut pas compter. D'ailleurs, les médecins qui ont fourni les éléments de cette enquête ont tous enregistré des faits bien propres à décourager les meilleurs sentiments chez les nourrices. La famille de l'enfant a disparu, la nourrice l'a élevé, le petit Parisien arrive à l'âge de quinze,-dix-huit, vingt ans, c'est-à-dire au moment où il va pouvoir par son travail aider au bien-être de sa famille d'adoption, alors le père de l'enfant reparaît et, grâce à

l'autorité paternelle qui n'est jamais atteinte même par la plus coupable insouciance, il reprend son enfant.

Ainsi, nous trouvons en présence, dans cette industrie, les sentiments les plus vils, fraude des nourrices, fraude des parents. Et ce dernier cas n'est pas rare. Les médecins des pays de nourrices estiment à une sur trois les nourrices qui au bout de quelques mois rendent les enfants parce qu'elles ne reçoivent pas de salaires.

Les nourrices qui ont pris leurs enfants à la maison municipale, au grand bureau, ne sont pas exposées à cet accident. L'administration assure dans ces cas le payement de la nourrice.

Et cependant, malgré cette garantie pour la nourrice, malgré les garanties de surveillance que donne le grand bureau, malgré la moindre mortalité qui frappe les enfants confiés au grand bureau, la clientèle de cette maison baisse tellement, que depuis quelques années au lieu de placer 4,000 nourrissons, c'est à peine si elle en place 2,000, alors que la population de Paris a doublé.

Pourquoi cette décadence? C'est que, d'une part, le grand bureau est une dépendance de l'assistance publique, et cette inscription si belle est pour le petit bourgeois une tache ; son amour-propre exige que personne ne puisse supposer qu'il a eu besoin d'un secours, un soupçon de cette nature serait pour lui une violente injure ; pourtant personne n'ignore que l'administration n'assiste que ceux qui sont dans la misère.

D'autre part, la nourrice ne veut pas de surveillance, soit ignorance, soit amour de sa liberté de bien ou mal faire, elle veut faire seule, et souvent ne sait que trop pourquoi elle tient à échapper à tout contrôle.

Enfin, il faut le dire, dans le grand bureau, la sage-femme qui procure un nourrisson ne reçoit aucune rémunération ; dans les petits bureaux au contraire, elle reçoit par nourrice placée dix, quinze francs. L'amorce de cette prime conduit dans ces derniers des sages-femmes qui ont quelquefois pour excuse les difficultés d'une existence besoigneuse. Hélas ! nous devons ajouter, la rougeur au front, qu'un certain nombre de médecins touchent aussi cette prime honteuse.

II

CONSÉQUENCES DE CETTE MORTALITÉ DES NOUVEAU-NÉS. — INFLUENCE SUR LA POPULATION.

Nous avons constaté que la mortalité qui frappe les enfants envoyés en nourrice est infiniment plus considérable que la moyenne (51 pour 100 au lieu de 18 pour 100). Or, comme ce n'est pas seulement Paris, mais toutes les grandes villes qui exportent hors de leur sein un grand nombre d'enfants, on conçoit facilement quelle influence a une telle mortalité sur la population.

De plus, l'allaitement maternel, avons-nous dit, ou l'allaitement à domicile par une nourrice *sur lieu*, met le nouveau-né parisien dans des conditions beaucoup plus favorables. Mais comme la nourrice sur lieu est une femme étrangère qui abandonne la campagne pour se placer, il y a simplement déplacement de la mortalité. Ce n'est plus le petit Parisien, mais l'enfant de la nourrice qui meurt. M. Monot a montré en outre que ce n'était pas seulement par la mort des enfants que se faisait la dépopulation des pays de nourrices. En l'absence prolongée de la femme, le mari trouve souvent au village des consolations assez faciles, car, dans les pays à nourrices, une fille-mère est pour la famille un bénéfice et non pas une honte. Une fois accouchée, elle part et le plus souvent ne revient pas. Puis, de leur côté, les nourrices de Paris, habituées à une vie oisive qu'elles ignoraient jusque-là, n'envisagent qu'en tremblant le moment où elles doivent revenir au village. L'allaitement de leur élève terminé, tous leurs efforts tendent à persuader à leur mari l'avantage du séjour à Paris. Le mari vend sa propriété, place ses enfants où il peut et part. Cette émigration est si commune que dans un seul canton, celui de Montsauche, le nombre des habitants, depuis dix ans, diminue de 53 par an.

Ainsi tout autre élevage que l'élevage par l'allaitement maternel est pour le pays une cause de dépopulation.

M. Villemin (de Strasbourg) a bien mis en relief ce point important, en choisissant, pour comparer, les conditions les plus défavorables à l'allaitement par la mère. Il trouve :

Mortalité avant 1 an.

Enfants nés à l'hôpital et élevés par leur mère . . . 21 p. 100
— nés à l'hôpital, mis en nourrice. . . . . . . 87 —
— nés dans les prisons de Strasbourg et élevés par leur mère. . . . . 24 —

Ainsi, bien que les enfants soient soumis à leur naissance aux influences malsaines de l'hôpital, bien qu'ils soient élevés dans les prisons par des mères suspectes, sans air, sans soleil, il en survit à un an huit sur dix, tandis que sur ceux qui sont mis en nourrice, il survit un sur dix !

Je ne veux pas ici m'appesantir sur le côté humain de la question. Je n'ai pas besoin de faire d'emprunt aux philosophes, les chiffres sont par eux-mêmes assez éloquents. Dans une nation civilisée, l'incurie qui laisse périr 100,000 enfants avant un an est une telle plaie, qu'il suffira de la mettre au jour, pour que chacun éprouve un besoin impérieux de lutter pour la faire disparaître.

Ce qui prouve d'ailleurs qu'il n'est pas impossible de modifier ce triste état des nourrissons, c'est la différence de mortalité qui existe dans les divers départements. En effet, si la mortalité moyenne pour toute la France des enfants avant un an est de 17,63 pour 100 (chiffre de M. Bertillon), elle varie pour les enfants légitimes de 11,18 dans la Creuse à près de 30 dans l'Eure-et-Loir et pour les illégitimes de 26 à 95. Voici le tableau publié par M. Broca, grâce au concours de MM. Legoyt et Bertillon.

DÉCÈS POUR 100.	TOUS LES ENFANTS.	ENFANTS LÉGITIMES.	ENFANTS ILLÉGITIMES.
Creuse.	11,18	10,74	17,50
Manche.	13,09	11,31	38,56
Vaucluse.	21,25	21,31	26,70
Basses-Alpes.	22,68	22,21	49,81
Loiret	22,72	19,84	59,12
Eure-et-Loir	29,52	25,95	95,87
Loir-et-Cher	20,89	18,56	59,72
Yonne	24,96	22,12	85,27
Sarthe.	19,68	18,14	34,74
Marne	23,36	21,41	41,75
Toute la France	17,638	16,455	32,125

Chacun de nous est intéressé, à titre d'individu, à ne pas laisser se perpétuer un tel massacre. Mais ce n'est pas seulement une honte, c'est un danger pour l'avenir. La France, en effet, n'est à la tête des nations ni par le nombre des naissances, ni par la durée de la vie des enfants. En sorte que s'il est vrai que la population augmente en France, il est vrai également qu'elle augmente beaucoup moins que celle des pays voisins; c'est en somme une diminution relative. Nous n'avons qu'à rappeler ces faits très-sommairement; ils ont été étudiés avec beaucoup de soin par M. Trélat, dans un article sur le mouvement de la population en France. (*Annuaire* 1868.) Nous les avons résumés dans le tableau suivant où nous avons comparé les principaux États de l'Europe sous le rapport de l'âge auquel se marient les époux, de la fécondité des ménages, de la mortalité des nouveau-nés. La conséquence se trouve dans la dernière colonne qui montre en combien d'années double la population de chaque pays.

NATIONS.	MARIAGES CONTRACTÉS AVANT 25 ANS. — RAPPORT P. 100 AU NOMBRE TOTAL DES MARIAGES.		NOMBRE DES ENFANTS PAR MÉNAGE.	MORTALITÉ DES ENFANTS DE 1 JOUR A 1 AN POUR 100.		PÉRIODE DE DOUBLEMENT DE LA POPULATION.
	HOMMES.	FEMMES.		GARÇONS.	FILLES.	ANNÉES.
Angleterre.	50,42	63,16	4,04	16,35	13,47	49
Autriche. .	36,57	54,08	4,47	27,11	23,62	267
Bavière. .	10,67	29,07	4,21	36,94	31,45	193
Belgique .	21,75	40,67	3,94	16,91	14,07	86
Espagne. .	»	»	4,47	19,42	19,42	57
France . .	27,46	55,36	3,02	19,76	16,88	198
Grèce. . .	»	»	4,76	»	»	44
Hollande. .	20,56	35,43	4,23	20,87	18,11	92
Irlande . .	»	»	»	»	»	Diminution.
Italie. . .	»	»	4,95	25,36	21,40	136
Portugal. .	»	»	4,78	13,25	13,25	120
Prusse . .	»	»	4,48	20,65	18,07	54
Russie . .	»	»	4,46	24,81	23,04	67
Saxe . . .	»	»	4,10	»	»	45
Suède . .	20,97	36,62	3,90	15,51	13,13	63
Suisse . .	»	»	4,32	»	»	114

L'âge respectif des époux montre que sur cent mariages contractés, la moitié des hommes n'a pas 25 ans en Angleterre, que cette proportion descend au tiers en Autriche, et au quart pour la France, qui se trouve en troisième rang. Nous n'avons pas ici à rechercher les causes de cette infériorité, nous pouvons signaler surtout l'influence des armées permanentes, et celle des habitudes de la vie actuelle qui forcent les jeunes gens à ne se marier que lorsqu'ils ont une position faite.

De tous les peuples, ce sont les Français dont les mariages sont *les moins féconds*, puisqu'il n'y a que trois enfants par ménage, et que chez presque tous les autres peuples, un ménage produit quatre et même près de cinq enfants.

Enfin nous arrivons, en cinquième ligne, dans l'art d'élever nos enfants. Nous sommes devancés par le Portugal, la Suède, l'Angleterre, la Belgique, les pays situés sous les climats les plus divers ; aussi est-il difficile d'invoquer autre chose que l'incurie des parents.

Le résultat de ces statistiques est celui-ci : la population de tous les pays doublera avant la nôtre, excepté celle de l'Autriche et de l'Irlande. La population de l'Angleterre, de la Prusse, de la Saxe, de la Suède, et même de la Grèce et de l'Espagne sera quintuplée, sextuplée avant que la nôtre soit double.

III

MOYENS DE REMÉDIER A LA MORTALITÉ DES NOURRISSONS. RÉGLEMENTATION. — SOCIÉTÉ PROTECTRICE DE L'ENFANCE. — CRÈCHES.

Nous venons d'étudier le mal. Existe-t-il un remède ?

Toute mère doit nourrir son enfant, dit le philosophe. Hélas ! nous savons, et nous l'avons dit, que c'est le meilleur, le seul moyen d'arrêter la mortalité des nouveau-nés. Mais, est-ce possible ? Non. Il est un certain nombre de femmes *qui n'ont pas de lait*.

D'autres, filles-mères, domestiques pour la plupart, ne peuvent nourrir leurs enfants, parce qu'elles n'ont qu'une façon de vivre, gagner leur vie au jour le jour, et dans notre société cela est impossible avec un enfant. L'enfant est une tache, et personne,

pas même le père, ne recueille ni la mère, ni l'enfant. D'autres, bien que mariées, ne peuvent nourrir leurs enfants; elles sont obligées de prendre leur part du souci des affaires, en l'absence du père, elles le remplacent au comptoir, et il n'y a pas place pour l'enfant au foyer de la famille. Logement trop étroit, occupation à l'extérieur, nécessité pécuniaire, toutes ces raisons obligent la mère à se faire remplacer.

D'autres femmes encore ne remplissent pas les devoirs de la maternité, parce qu'elles sont *femmes du monde*, et que l'opulence et l'oisiveté s'accommodent mal des tracas du berceau. D'ailleurs, c'est surtout chez ces dernières, nous devons le dire, que le médecin lui-même s'oppose à ce que la mère nourrisse. La santé de la femme est le plus souvent trop précaire pour permettre une nourriture dont l'issue serait probablement fatale pour les deux.

Puisque toutes les femmes ne peuvent pas allaiter leurs enfants, il y a plus de nourrissons que de nourrices, et il faut procurer une nourriture à un certain nombre d'enfants. Or l'industrie de la nourrice subit la loi de toutes les industries, quand la demande surpasse l'offre, la fraude se glisse dans l'industrie.

En présence de cette insuffisance du lait que faire ? Les moyens proposés n'ont pas manqué, et les nourrissons ont trouvé de généreux protecteurs.

Pour les uns le remède se trouve dans la réglementation, et quelques membres de l'Académie de médecine n'ont pas craint de proposer des règlements ayant jusqu'à 70 articles. Devant un tel abus de défenses, d'ordres, de conseils, une telle profusion d'articles le bon sens s'est révolté et M. Fauvel a remporté un véritable succès de tribune à l'Académie, quand il s'est élevé contre ce projet. Pour lui le règlement le mieux fait ne fera jamais du lait, et c'est le lait qui manque, et en définitive c'est la misère qui est chargée d'alimenter la misère, la loi ne changera jamais la disette en abondance.

Cela est vrai, mais n'est pas absolu. Non, on ne fera pas du lait par ordonnance, mais la mortalité ne tient pas seulement au manque de lait; et on peut empêcher un certain nombre d'accidents.

Nous savons l'histoire du petit Parisien en voyage, froid dans des wagons mal clos, froid dans des voitures mal faites, surveillance si légère; que l'on se demande si dans cette promiscuité de

nourrices ou de nourrissons il ne se fait jamais de ces échanges d'enfant dont la pensée fait frémir. Nous avons dit aussi que le maire est parfois le complice de ces supercheries dont le résultat peut être la mort d'un nourrisson, enfin il est des nourrices qui ont toujours des nourrissons et qui n'en rendent jamais.

Avant d'aller plus loin, n'y a-t-il pas là obligation pour l'État? On ne porte plus les enfants à la mairie le jour de leur naissance parce que le froid les décime, l'autorité l'a reconnu, c'est un précédent qui l'oblige à être logique et à ne plus permettre le voyage de nouveau-nés, sinon dans des wagons et des voitures parfaitement closes, disposées pour les nourrissons. Ce seront des frais, mais la patrie ne retrouvera-t-elle pas ces nourrissons vingt ans plus tard si elle les préserve de la mort par le froid.

Il faut donc une surveillance au départ. Elle est possible, il faut la demander jusqu'à ce qu'elle soit. Mais une fois dans leur pays, quel peut être le protecteur du nourrisson contre sa nourrice si celle-ci est mauvaise. Il n'y en a qu'un seul possible, c'est le maire, il faut qu'il soit le père de la famille qu'adopte la commune. On crée le juge de paix pour les intérêts matériels, que l'on crée le protecteur des nourrissons. Le maire seul a l'autorité nécessaire pour surveiller, envoyer un inspecteur, procurer un médecin, empêcher la fraude, dénoncer à la justice trop indifférente de cette question, les *faiseuses d'anges*. Tout cela est du ressort de l'autorité, elle doit intervenir comme le parquet doit intervenir quand il y a attentat contre la vie humaine. Son seul intermédiaire est le maire, et j'ai assez confiance dans l'honnêteté de mes concitoyens pour être convaincu que s'il était averti, s'il connaissait sur ce point ses droits et sa responsabilité aucun maire n'oserait plus commettre les fraudes dont quelques-uns se rendent complices.

Mais, devons-nous simplement tendre les mains vers l'autorité, et attendre que son arrêt descende sur nos enfants pour les protéger? Nullement. L'État n'interviendra que s'il y est forcé par un grand mouvement de l'opinion publique. Chacun, dans la mesure de ses forces, doit lutter pour empêcher ces massacres d'innocents.

Aujourd'hui, la base d'une association existe. Il s'est fondé à Paris, il y a plusieurs années, une société protectrice de l'enfance, dont le but principal est de protéger la vie du nouveau-né.

Aujourd'hui, cette société compte un millier de membres, pris dans toutes les classes de la société ; duchesses, bourgeoises et ouvrières s'y rencontrent avec des médecins, des diplomates, des avocats, etc. Elle cherche à créer une surveillance sur les nouveau-nés, en multipliant en province des médecins inspecteurs ; elle a à Paris un bureau où elle intervient, où elle place des enfants. Malgré une bonne volonté dont la preuve se trouve à chaque page de ses bulletins, cette société n'a pas l'influence à laquelle elle a droit. Elle est paralysée par la mauvaise volonté des petits bureaux qui luttent contre toute ingérence étrangère, par la résistance des nourrices qui ne vont que là où n'existe aucune surveillance. Pour vaincre ces obstacles, que faut-il? De l'argent. Il faut que la société puisse par elle-même ouvrir un grand bureau, dont elle sera responsable ; il faut qu'elle puisse avoir en province des recruteurs honorables, dévoués, et par conséquent payés, des médecins surveillants payés. Aujourd'hui, ces médecins font, avec le plus grand zèle, leur service gratuitement, ils le feront longtemps encore, mais ce ne sera un service réellement organisé, que le jour où des honoraires seront la juste rétribution des services rendus. Qu'un jour on vienne à apprendre que l'un des médecins a négligé son service, que lui dire, qu'exiger de lui ? Il a manqué à son devoir, mais vous, société, qu'avez-vous fait pour lui ?

Comment trouver de l'argent ?

En France, on ne trouve d'argent pour la charité que par le clergé. Or le but que celui-ci poursuit n'est pas le nôtre. Qui de nous n'a donné pour l'œuvre de la Sainte-Enfance, dite des petits Chinois? On se figure généralement, ainsi que l'a rappelé M. Thirion, que cette œuvre a pour objet d'arracher à la mort des petits Chinois que leurs parents, dit-on, ont l'affreuse habitude de jeter aux pourceaux. Que l'on se détrompe, l'œuvre poursuit un autre but.

Dans le compte rendu de 1864-65, on trouve les résultats suivants : enfants baptisés, 370,000 ; enfants mis en nourrice, 5,127. Déboursés, 1,525,700 francs. Ces chiffres montrent que les frais de nourrice ne comptent que pour bien peu dans la dépense. Mais que penser des lignes suivantes :

Page 29 : « Au milieu des troubles qui tiennent en souffrance notre chère mission de Yun-Nan, seule, la Sainte-Enfance *pros-*

père, secondée qu'elle est par trois auxiliaires terribles, la guerre, la famine et la peste ; la guerre fait des orphelins, la famine les amène aux missionnaires, et la peste les envoie au ciel. »

L'œuvre prospère !

Page 68 : « Que peut-on dans ce vicariat de Mangalou? *Les parents aiment leurs enfants avec tendresse*. L'extrême misère seule peut dans des cas rares les engager à les donner ou à les vendre ; et les missionnaires catholiques trouvent pour les acheter *la concurrence protestante* qui porte le prix de chaque enfant jusqu'à douze roupies, soit 30 francs. »

Page 76 : « M. Valerga voudrait qu'il lui fût permis d'employer une partie de ses ressources en faveur d'enfants schismatiques. La loi qui nous gouverne nous l'interdit. C'est exclusivement pour les enfants idolâtres ou païens que l'œuvre de la Sainte-Enfance a été fondée. *Aucun enfant né de parents séparés de l'unité romaine n'a droit à nos secours.* »

Passons, mais ne confondons pas avec une œuvre protectrice de l'enfance. Ce qu'il nous faut faire, c'est nous organiser, et je ne puis croire que les mères de famille resteraient insensibles si on leur répétait les belles paroles de saint Vincent de Paul. « Ces enfants vivront si vous continuez d'en prendre un charitable soin, et au contraire ils mourront et périront infailliblement si vous les abandonnez. » Nos mères ont répondu qu'ils vivent, et les enfants trouvés ont été sauvés. Les mères d'aujourd'hui seraient-elles moins sensibles ?

Si la société protectrice de l'enfance avait des fonds suffisants, et qu'elle pût payer ses nourrices un prix supérieur à celui des autres bureaux, elle aurait les meilleures d'entre elles, elle les choisirait, et l'opinion publique éclairée la soutiendrait dans une œuvre qui ne peut avoir que des adhérents.

Le résultat à obtenir est celui-ci : avoir pour les nouveau-nés des femmes ayant déjà élevé leur enfant jusqu'à sept mois, âge auquel un enfant bien portant peut être sevré sans danger. Beaucoup de nourrices conservent assez longtemps du lait pour pouvoir nourrir dix-huit mois et quelquefois plus.

Convaincus qu'il faut recourir à l'allaitement féminin, qu'il faut surveiller les nourrices, quelques médecins ont eu l'idée de fonder des colonies maternelles, sortes de petits villages où viendraient s'établir, aux environs des grandes villes, les nourrices et

leurs familles. Ce projet, d'une réalisation difficile, aurait de plus le grand inconvénient de favoriser les agglomérations d'enfants, et par suite de multiplier leurs chances de mort. En effet, que l'un de ces enfants soit atteint d'une fièvre éruptive, de la coqueluche, ou d'une maladie infectieuse, il se développera immédiatement dans la colonie maternelle une véritable épidémie.

La même objection s'applique au projet du docteur Chalvet. Ce médecin distingué voudrait que l'on remplaçât les nourrices mercenaires par des vacheries placées près des villes. Je crois les agglomérations d'enfants si dangereuses pour eux que je regarderais la réalisation de ce plan comme funeste.

La seule institution de cet ordre, que l'on doive encourager, est la crèche. Les enfants, il est vrai, y sont réunis en grand nombre, et jusqu'à ce jour leurs conditions hygiéniques laissent beaucoup à désirer. Cependant, comme les crèches permettent aux mères d'allaiter leurs enfants, et en même temps d'employer leur activité à augmenter les ressources du ménage, il y a là un double intérêt à respecter, et avec une surveillance suffisante, on peut assez bien éviter les accidents de contagion. Les réformes à obtenir dans la construction des crèches, dans leur emplacement, sont d'ailleurs faciles à concevoir. Il faut qu'elles ne puissent pas recevoir un trop grand nombre d'enfants, qu'elles ne s'ouvrent que pour ceux que les mères peuvent venir allaiter deux fois au moins par jour. C'est dans ce sens qu'en Alsace, à Mulhouse en particulier, à l'entrée des fabriques, existent des crèches où les mères travaillant dans la maison déposent leurs enfants.

Tous ces moyens ne sont que palliatifs, mais je suis persuadé que sous l'influence de la pression de l'opinion, on obtiendra une diminution telle de la mortalité, que les exemples que nous avons cités plus haut ne seront plus que de monstrueuses exceptions.

Il suffit pour cela, que l'État surveille le transport des nourrissons, qu'il rappelle aux maires la gravité de leur responsabilité, qu'il étende leur surveillance, que les médecins interviennent auprès des familles et leur fassent connaître le danger, que les familles enfin s'associent de façon à fonder une direction libre de nourrices, largement pourvue de ressources pécuniaires. Avec de l'argent, on pourra empêcher de se reproduire et les fraudes des nourrices, et les fraudes des parents, ou du moins annuler leurs plus graves conséquences. P. Brouardel.

II

LES BACTÉRIDIES ET LES AFFECTIONS CHARBONNEUSES.

Les altérations de l'organisme qui déterminent lentement ou rapidement sa destruction finale dérivent d'un double ordre de causes.

Les premières sont fatales, les secondes sont accidentelles.

Les causes fatales tiennent aux conditions de débilité innée ou acquise de l'organisme, au travail permanent qui pèse sur des appareils délicats, en un mot, à toutes les circonstances de détérioration d'un ensemble d'organes, dont la durée ne peut être que temporaire.

Les organes, en effet, sont soumis à des modifications inévitables de texture, liées à la transformation chimique de leurs molécules constitutives ; ces transformations morbides les dégradent jusqu'au point où le jeu régulier des appareils indispensables à la vie devient impossible.

La médecine, si on la considère par son côté le plus étroit, qui serait l'art de guérir, est limitée à chaque pas dans son action par des fatalités inhérentes aux lois mêmes de la vie, et l'on peut dire que les altérations de la santé, qui tiennent à ce premier ordre de causes échappent en grande partie aux efforts tentés pour y porter remède.

Il n'en est plus de même des causes de trouble et de mort qui se trouvent en dehors de l'organisme ; quoiqu'elles l'enveloppent pour ainsi dire de toutes parts, on peut leur opposer de puissantes barrières, et c'est un des grands mérites de la science moderne d'avoir mis en pleine lumière l'existence et le mode d'action d'une grande quantité d'agents malfaisants, qui, sans cesse, portent la mort au milieu de nous.

C'est dans la lutte contre ces ennemis que la médecine prouve le plus clairement sa puissance ; non pas autant peut-être quand elle tente de réparer les accidents déterminés sur chaque organisme en particulier, que quand elle va atteindre dans leur source même les causes de danger.

Nous avons plusieurs fois, dans ce recueil, cherché à faire connaître au lecteur les progrès accomplis dans cette voie; il se souviendra peut-être de nos études sur le mode de propagation du choléra, maladie évidemment produite et propagée par un agent vivant et étranger, introduit dans l'organisme humain et s'y multipliant. Ce qui n'était alors qu'une hypothèse, est presque devenu un fait scientifique aujourd'hui. Un savant allemand, M. Thomé, a pu, en effet, isoler dans les déjections cholériques, des cellules particulières qui, inoculées à des animaux, ont causé des accidents cholériformes.

Plus tard, nous avons fait passer sous les yeux du lecteur la migration des trichines, et cherché à faire comprendre le mécanisme de ces épidémies meurtrières qui, pendant deux années, ont fait tant de victimes dans le nord de l'Allemagne. La science avait rapidement découvert la cause du mal, et trouve le remède dans l'examen microscopique de la viande de porc mise en vente.

Plus récemment, nous avons exposé les résultats des belles recherches de M. Villemin sur les causes de la phthisie pulmonaire. Ce savant, en effet, nous donne, à propos de la maladie à laquelle succombe le tiers de l'humanité, la preuve qu'elle est le résultat de l'introduction dans l'organisme humain d'un agent étranger.

Il y a peu de mois, pour apporter la preuve la plus éclatante de la vérité de sa théorie, M. Villemin a démontré qu'une parcelle de l'expectoration d'un phthisique séchée et conservée pendant plusieurs mois ne perdait rien de ses qualités toxiques, et pouvait au bout d'un temps très-long, reproduire la phthisie par l'inoculation.

Mettre ainsi à nu le mode de genèse des maladies est le plus grand service que les savants puissent rendre à la médecine; car à la notion de la cause du mal vient se lier très-simplement le plus souvent, la connaissance du remède.

La notion de l'un des modes de propagation de la phthisie sauvera la vie à plus d'hommes que ne l'ont fait les médicaments innombrables préconisés depuis des siècles contre cette terrible maladie.

Dans un ordre semblable de recherches vient se placer la belle découverte de M. le docteur Davaine, du mode exact de transmission des affections charbonneuses et du traitement efficace qu'elles comportent.

I

De tous temps la médecine a connu, sous le nom de feu persique ou charbon malin, puce maligne de Bourgogne, pustule maligne, une affection d'autant plus redoutable, que son début insidieux ne laisse soupçonner le péril qu'au moment où déjà la mort menace.

Une petite tache apparaît sur la peau des mains ou du visage, et devient le siége d'une démangeaison analogue à celle produite par la morsure d'une puce. En quelques heures, et sans provoquer aucune douleur, la tache grandit et devient noirâtre; peu à peu les parties voisines enflent. Pendant deux, trois ou quatre jours au plus, le mal reste local; rien dans l'état général de la personne atteinte ne fait pressentir le danger, et l'absence même de douleur au siége du mal contribue à entretenir le malade dans une fausse sécurité; tout à coup la scène change : un malaise profond se déclare; la fièvre s'allume; toutes les fonctions de l'organisme se troublent, et le plus souvent la mort vient brusquement mettre un terme aux souffrances du malade.

Longtemps confondue avec des affections toutes différentes, telles que l'anthrax et le furoncle, cette terrible maladie devint vers le milieu du siècle dernier l'objet d'études approfondies, qui bientôt lui donnèrent une place à part dans les cadres de la pathologie spéciale.

Fournier, médecin distingué de Bourgogne, signala le premier, en 1764, comme cause du charbon malin, la transmission à l'homme d'un virus provenant d'animaux atteints de la même maladie, et en particulier des moutons succombant à ce que les bergers nomment encore « le sang de rate. »

L'Académie de Dijon émue des ravages que faisait le charbon malin dans la province de Bourgogne, se saisit de la question posée par Fournier ; elle institua une série de concours qui donnèrent lieu aux savants mémoires de Thomassin, Chambon, Saucerote, Enaux et Chaussier. De cette enquête scientifique résulta pour tous jusqu'à l'évidence, que le charbon ou pustule maligne, est une affection distincte, due à l'inoculation médiate ou immé-

diate du virus produit par les animaux morts du sang de rate. La nature spéciale de la maladie étant ainsi reconnue, et les symptômes qui la caractérisent nettement déterminés, au diagnostic incertain et à la médication empirique qui avait cours jusqu'alors, on put substituer des données sûres et un traitement rationnel, dont la cautérisation est la base.

Dès lors et jusqu'en 1850, sauf quelques travaux de détail définissant plus exactement les symptômes et la marche du mal, il en fut pour le charbon ce qu'il en est encore aujourd'hui de la morve, de la rage et de la vaccine. La science connaissait les circonstances dans lesquelles se rencontre le mal ; elle donnait au médecin les moyens de le découvrir dès le début et d'en conjurer les dangers, mais la cause même du mal, ce principe délétère caché sous le terme vague et mystérieux de virus charbonneux, restait toujours insaisissable.

C'est à M. le docteur Davaine que revient la gloire d'avoir résolu cette question jusqu'alors insoluble. Grâce aux beaux travaux de cet éminent savant, dont le premier date de 1850, la cause du charbon n'est plus pour nous une de ces causes occultes qui, sur tant de points encore de la médecine, ne sont que l'aveu détourné de notre ignorance, et par cela même de notre impuissance. La cause du charbon est un être microscopique que nous pouvons soumettre à une expérimentation méthodique, dont nous connaissons déjà les lois de développement, et que par conséquent nous pouvons poursuivre et détruire dans son principe aussi sûrement que tout autre animal ou végétal malfaisant.

II

On savait, nous venons de le dire, les relations de la pustule maligne ou charbon chez l'homme, avec les affections charbonneuses des animaux, et en particulier avec la maladie appelée « sang de rate » chez le mouton ; on savait que cette pustule a pour cause déterminante l'introduction sous l'épiderme du sang d'un animal charbonneux, M. Davaine ne se contenta pas de ce fait général ; il voulut aller plus loin, et il soumit à l'analyse microscopique le sang d'un mouton mort du sang de rate.

Il reconnut dans ce sang la présence de petits filaments immobiles, d'une longueur variable entre un centième et douze centièmes de millimètre. Après avoir constaté l'absence constante de ces filaments dans le sang de moutons vivants et sains, ou tués à la boucherie, M. Davaine, par une longue série d'inoculations pratiqués sur des bœufs, des chevaux, des lapins, des cobayes, des rats et d'autres animaux encore, reproduisit toujours la maladie charbonneuse, et partout il retrouva dans le sang des animaux infectés les mêmes filaments[1]. Plus tard, de concert avec le docteur Raimbert et le docteur Mauvezin, M. Davaine démontra la présence de ces êtres microscopiques dans plusieurs cas de charbon chez l'homme[2].

La découverte était faite; il restait à en tirer les conséquences et à lui donner tous les caractères de l'évidence. M. Davaine a suffi à cette longue tâche, et c'est le résumé de ses travaux si complets, que nous donnons aujourd'hui à nos lecteurs.

III

Les filaments découverts par M. Davaine dans le sang des animaux charbonneux appartiennent à cette classe d'êtres inférieurs, et presque toujours microscopiques, qui sous le nom d'infusoires, ont été tour à tour revendiqués par les zoologistes comme faisant partie du monde animal, et par les botanistes comme dépendant du monde végétal; ils appartiennent plus spécialement à la famille des *Vibrioniens*, dont ils forment avec les bactéries un des deux genres principaux.

Les bactéries sont les premiers êtres qui apparaissent dans les matières organiques en voie de décomposition, et les plus petits êtres vivants que le microscope ait jusqu'à présent réussi à découvrir. Un d'entre eux, le *bacterium termo*, est long de deux à trois *dix-millièmes* de millimètre. La *bactéridie charbonneuse* découverte par M. Davaine diffère des bactéries, en ce que, au

[1] *Bulletin de la Société de biologie*, 1850. — Communications à l'Académie des sciences 27 juillet, août 1863, 22 août 1864.

[2] Communications à l'Académie des sciences septembre 1864, 19 juin 1865.

lieu d'être animée comme celles-là d'un mouvement vacillant, elles ont pour caractère constant une immobilité complète. Ce sont des filaments droits, roides, cylindriques, composés de deux, trois et très-rarement quatre segments; très-minces relativement à leur longueur, qui va de quatre à douze *millièmes de millimètre* pour un seul segment et quelquefois jusqu'à cinq centièmes.

Les *bactéridies charbonneuses* se développent chez l'homme, le mouton, le bœuf, le cheval, le lapin, le cobaye, le rat, la souris. Elles ne se développent ni chez le chien, ni chez les oiseaux. Leur résistance à l'action de la potasse caustique et de l'acide sulfurique permet de les reconnaître aisément sous le microscope. Chose remarquable, ces petits êtres, inattaquables par d'aussi puissants agents chimiques, disparaissent promptement sous l'influence de la putréfaction, pour faire place à d'autres êtres organisés. Une chaleur de + 52° C. suffit également pour les tuer, à moins qu'elles ne soient préalablement desséchés. Dans ce dernier cas, elles supportent sans péril une température de + 100° C.

La *bactéridie charbonneuse* est la cause du sang de rate chez les animaux et de la pustule maligne chez l'homme. Leur présence constante dans le sang des animaux infectés aussi bien que dans les pustules malignes excisées, et soumises à l'analyse microscopique, le résultat positif des nombreuses inoculations faites avec du sang contenant des bactéridies, le caractère tout différent des accidents auquels succombent les animaux auxquels on inocule un sang charbonneux, mais putréfié, ne contenant plus de bactéridies, et ces faits répétés sur une grande échelle, eussent suffi à un observateur moins scrupuleux que M. Davaine pour maintenir contre ses contradicteurs que les bactéridies seules ont le triste privilége d'inoculer le charbon. Mais M. Davaine ne s'est pas contenté de ces preuves si concluantes et a institué une expérience ingénieuse dont le résultat est décisif.

« Des observateurs, dit-il, ont pensé que le seul moyen d'établir l'identité du virus charbonneux et des bactéridies serait de séparer celles-ci du sang par la filtration, et l'on a même essayé de le faire. Mais ce serait là, assurément une tentative vaine, car les recherches de M. Coste, relatives à la question des générations spontanées, nous ont appris que des infusoires, d'un vo-

lume infiniment supérieur à celui des vibrioniens, passent à travers tous les filtres.

« Cependant, relativement à la question qui nous occupe, le filtre que l'industrie humaine ne peut nous procurer, la nature peut nous le fournir : on sait, en effet, que, chez les mammifères en état de gestation, un organe qui établit de larges communications entre la mère et le fœtus, le placenta, ne laisse point passer les corps solides les plus petits, ni les corpuscules du sang, ni les substances les plus ténues que l'on emploie dans les injections. Il était donc très-probable que les bactéridies, qui sont des corps solides, ne passeraient point de la mère au fœtus, et j'ai, en effet, pu vérifier ce fait dans un nombre de cas suffisant pour acquérir à ce sujet une certitude.

« Cela posé, si les bactéridies et le virus charbonneux sont une même chose, le sang du fœtus qui ne reçoit point de bactéridies doit être incapable de produire le charbon ; c'est ce qu'a montré l'expérience suivante :

« J'ai inoculé un cobaye en état de gestation très-avancée ; avec du sang charbonneux. Ce cobaye étant mort deux jours après l'inoculation, offrit dans son sang et dans celui du placenta des myriades de bactéridies ; mis il n'y avait aucun de ces corpuscules visible dans le sang ou dans les organes du fœtus qui se trouvait seul dans la matrice.

« Quatre cobayes furent inoculés alors, l'un avec le sang du placenta qui contenait des bactéridies, et les trois autres avec celui du cœur, de la rate et du foie du fœtus qui n'en contenait pas. Or, le premier cobaye mourut le lendemain infesté de nombreuses bactéridies, tandis que les trois autres, inoculés avec le sang du fœtus, ne furent nullement malades, et je les conservai vivants pendant plusieurs mois encore [1].

Ainsi le doute n'est plus permis. Le sang charbonneux doit ses propriétés toxiques aux *bactéridies* qu'il contient et à elles seulement.

Reste maintenant à examiner comment un être aussi microscopique peut causer dans un grand organisme les ravages si profonds et si soudains que nous présente l'histoire du sang de rate chez les animaux et de la pustule maligne chez l'homme.

[1] Note lue à l'Académie de médecine le 3 décembre 1867.

M. Davaine a tué des cobayes en leur inoculant un *millionième* de goutte de sang charbonneux et cela en cinquante-trois heures [1]. Or un cobaye pesant un kilogramme est à une bactéridie au moins comme deux mille fois dix millions est à un.

En effet, dans une seule goutte de sang charbonneux on a pu compter jusqu'à dix millions de bactéridies. En admettant que les bactéridies représentent la dixième partie en poids du sang dans lequel elles nagent, et que la goutte de sang pèse un gramme, nous avons dix millions de bactéridies pesant dix centigrammes. Admettant d'autre part que le cobaye pèse un kilogramme, il en résulte que dix petits êtres pesant à eux dix la vingt millionième partie d'un gramme ont suffi pour détruire en cinquante-trois heures un animal pesant un kilogramme, c'est-à-dire mille fois vingt millions de plus qu'eux !

Un simple aperçu du mode de génération de ces infusoires suffira pour nous expliquer ce phénomène, de prime abord si incroyable.

Les bactéridies comme tous les vibrioniens se multiplient avec une rapidité prodigieuse, à un certain point de leur développement la bactéridie se coupe en deux, et chaque tronçon à son tour croît pour de nouveau se scinder. Or la bactéridie charbonneuse a de quatre à douze millièmes de millimètre de longueur, il suffit donc pour qu'elle reproduise par scission une autre bactéridie, qu'elle s'accroisse de douze millièmes de millimètre. Se fondant sur l'exemple d'autres vibrioniens dont on a pu suivre la croissance, il n'y a rien d'exagéré à admettre qu'une période de deux heures suffit à une bactéridie pour se reproduire.

Ceci posé, reprenons l'exemple du cobaye tué en cinquante-neuf heures par un millionième de gouttes de sang charbonneux, c'est-à-dire par une dizaine de bactéridies. Au bout de deux heures il y avait vingt bactéridies dans le sang du cobaye, au bout de quatre heures quarante, au bout de six heures quatre-vingts, et si, d'un saut nous allons jusqu'au terme de la progression, nous trouvons une heure avant la mort, c'est-à-dire à la cinquante-huitième heure, cinq milliards trois cent soixante-quinze millions huit cent trente et un mille quarante bactéridies, en chiffres 5,375,831,040, soit en poids et prenant pour base notre

[1] Davaine, *Bulletin de l'Acad. impériale de médecine*, t. XXXIII, 816.

précédent calcul, cinquante grammes. Qu'y a-t-il d'étonnant à ce que cinquante grammes d'une matière éminemment toxique, tuent un animal pesant un kilogramme? Quelques centigrammes d'acide prussique ne suffisent-ils pas pour tuer un bœuf pesant plusieurs centaines de kilogrammes?

Les bactéridies tuent les animaux dans le sang desquels elles peuvent vivre et se reproduire; elles tuent d'autant plus rapidement que leur nombre est plus grand[1]; mais comment tuent-elles? Voilà la découverte qui reste encore à faire pour M. Davaine.

Certes, nous pouvons déjà, raisonnant par analogie, supposer que les bactéridies charbonneuses jouent dans le sang un rôle analogue à celui de maint ferment dont la science a déjà pu déterminer l'action. Nous savons que, dans des combinaisons peu stables, semblables aux liquides organisés, telles que le sucre, l'acide tartrique, etc., des vibrioniens s'emparent de l'oxygène existant dans ces combinaisons, et les modifient ainsi profondément.

Devons-nous attribuer la gangrène des tissus où les bactéridies se développent, devons-nous expliquer la modification si remarquable des globules sanguins dans les affections charbonneuse, à l'action comburante ou oxydante, ce qui revient au même, des bactéridies? Ceci sera, nous n'en doutons pas, élucidé d'ici à peu par des recherches ultérieures.

Quoi qu'il en soit, nous tenons enfin le principe premier d'une des affections contre lesquelles il est possible à l'homme de se prémunir. Le virus charbonneux, pestilentiel des anciens, est devenu, grâce à la découverte de M. Davaine, un animalcule visible dont nous pouvons étudier l'action, et par conséquent que nous pouvons combattre à armes égales. La voie est maintenant ouverte. Nous savons maintenant qu'il est une maladie analogue à la rage comme à la variole, à la morve comme au typhus, dont la cause première est tangible, visible, et que nous pouvons dominer par notre prévoyance, aussi bien que nous détournons la foudre de nos demeures par la connaissance que nous avons acquise de l'électricité.

Le jour où M. Davaine nous aura montré le rôle chimique et physiologique des bactéridies dans le sang, ce jour-là une des

[1] Davaine, *Bulletin de l'Académie de médecine,* t. XXXIII, p. 866.

pages du grand livre de la médecine sera terminée, de ce grand livre où il reste encore presque autant de lacunes que de pages.

IV

Des découvertes récentes nous ont appris qu'il y a eu un temps sur cette terre, où l'homme réduit aux armes dont la nature l'a doté, devait fuir jusqu'au fond des cavernes les attaques des grands carnassiers qui alors peuplaient les forêts.

Peu à peu l'intelligence humaine trouva des ressources contre ces ennemis formidables. Elle inventa les armes, elle les perfectionna, et alors l'homme si faible, si nu, put lutter avec avantage contre le mammouth et le grand ours des cavernes.

Aujourd'hui nous n'avons plus de semblables ennemis à combattre, à peine si le souvenir de ces luttes préhistoriques est resté dans les légendes de dragons et de salamandres monstreuses que de vieilles nourrices content à nos enfants. Le temps des Thésée et des Saint-Georges, des Hercule et des Médor, a disparu dans un passé lointain ; tout au plus si, maintenant, dans les déserts de l'Afrique ou les solitudes de l'Asie, nous pouvons trouver quelque monstre malfaisant à détruire.

Le rôle bienfaisant du héros a changé. Ce n'est plus l'arc ou l'épée à la main qu'il doit attaquer et détruire l'ennemi de ses semblables. Au courage brutal des premiers âges, a succédé maintenant le courage persévérant et intelligent du savant. Ce ne sont plus les tigres et les ours dont nous avons à nous préserver, ils ont fui dans les déserts, ce sont ces infiniments petits dont nous venons de tracer rapidement l'histoire, et qu'il faut maintenant détruire ; c'est à ces messagers de mort, à ces porteurs de choléra et de variole, de charbon et de rage, que les héros de nos temps et de l'avenir doivent déclarer une guerre opiniâtre.

Certes, entre le savant muni de son microscope et de ses fioles à réactifs, risquant sa vie de sang-froid au fond d'un laboratoire, par mille expériences dangereuses, ou le héros antique courant les monts et les vallées, et luttant corps à corps avec les bêtes féroces, la différence est grande de prime abord. Cependant, en réalité, n'est-ce pas toujours le spectacle de cette même force

consciente, morale, qui multipliant ses sacrifices, ses dévouements et ses efforts, finit par imposer à la nature un joug et la soumet à sa volonté ?

Les habitants de Némée ont jadis élevé un temple à Hercule, qui les avait délivrés du lion qui ravageait leur contrée.

Nous ne savons si les habitants de la Beauce ou de la Bourgogne témoigneront jamais leur reconnaissance au savant dont les travaux successifs ont fait connaître la nature des affections charbonneuses et les remèdes certains qui les guérissent. Nous doutons que M. Davaine reçoive jamais la récompense qui lui est due pour avoir le premier découvert les bactéridies charbonneuses, et les avoir ainsi soumis à notre puissance ; mais la science n'est pas ingrate, et toujours elle saura conserver le souvenir de ceux dont les veilles et les travaux ont agrandi son domaine, et ont donné à l'humanité une nouvelle arme pour se défendre contre les nombreux ennemis qui l'entourent et la menacent.

Dr Jules Worms.

EXPLOITATION DES ANIMAUX

I

LA PESTE BOVINE.

Les Allemands appellent *Rinderpest*, peste bovine, les Anglais *cattle-plague*, et les Français *typhus contagieux du gros bétail* ou *des bêtes à cornes*, la maladie qui, dans ces dernières années, a exercé en Angleterre et en Hollande tant de ravages, et a causé en Allemagne, en Belgique et en France de si vives appréhensions. Lors de sa dernière invasion en Europe occidentale, nous avons réussi à nous en préserver à peu près complétement, grâce à la vigilance de l'administration française de l'agriculture, éclairée et activement secondée par les vétérinaires qu'elle a honorés de sa confiance. Ce résultat heureux est dû, à n'en pas douter, aux études persévérantes de l'un de nos maîtres, Renault, que ses missions en Allemagne et dans les provinces autrichiennes, où la peste bovine sévit si fréquemment, avaient mis en mesure de fixer la science française sur les véritables caractères du mal, de telle sorte que ses élèves se sont trouvés prêts, lorsque les derniers événements nous ont mis en présence d'un danger menaçant.

Ce danger peut se représenter d'un moment à l'autre, à cause du développement qu'a pris le commerce des bestiaux avec le pays des steppes de la Hongrie et de la Russie méridionale, par suite de la construction des voies ferrées qui mettent l'Europe occidentale en communication avec ces régions éloignées, dont la

production animale est à peu près le seul mode d'exploitation ; on sera peut-être bien aise, pour ce motif, de trouver ici une histoire abrégée d'une maladie dont la contagion est tellement subtile qu'il suffit, quand on l'abandonne à sa marche naturelle, de l'introduction d'un seul individu atteint pour que tout le bétail d'un pays en soit de proche en proche infecté.

Nous ne pouvons pas songer à remonter dans un passé lointain pour retracer les sévices que la peste bovine a exercés, à diverses époques, sur les bestiaux de notre agriculture. Toutes les fois que les populations armées des bords de la mer Caspienne et de la mer Noire se sont mis en marche vers l'occident, ces hordes guerrières ont traîné le fléau à leur suite, avec les troupeaux de bœufs dont elles étaient obligées de s'approvisionner. De même dans les temps modernes, il en a été ainsi pour les armées russes et autrichiennes ; et l'on se souvient encore en France, parmi les souvenirs douloureux laissés par l'invasion des alliés, en 1814, des ravages du typhus. C'est la dernière fois qu'on l'ait vu, sur notre sol, prendre un certain développement ; et nous sommes en droit d'espérer que de telles circonstances (les seules dont nous ne serions pas désormais absolument maîtres) ne se représenteront plus.

Nous nous bornerons donc à ce qui concerne la marche de la dernière épidémie de l'Angleterre, de la Hollande et de l'Allemagne, atteinte elle aussi à la suite de son conflit avec l'Autriche, en vue surtout de montrer comment il s'est fait que notre pays, ainsi entouré, ait pu cependant demeurer préservé. Mais auparavant il sera bon de donner une description sommaire de la peste bovine, d'en faire la pathologie abrégée, afin que le lecteur ait au moins une idée de ce dont nous avons à lui parler.

I

Les descriptions minutieuses des symptômes de la peste bovine ne manquent pas. Les vétérinaires russes et allemands, qui ont eu si fréquemment l'occasion de les observer, et qui, dans des congrès internationaux, ont mis leurs connaissances en commun pour les discuter et les déterminer exactement, nous en ont

donné de nombreuses relations. Les Jessen, les Gerlach, les Röll ont enrichi la science de traités à peu près complets sur le sujet. En France, M. H. Bouley vient d'ajouter à un ouvrage de pathologie bovine récemment publié par M. Cruzel, un chapitre où il a contrôlé, par ses propres observations, recueillies en Angleterre et en Allemagne, les résultats de celles des auteurs étrangers que nous venons de nommer.

D'après toutes ces descriptions, on peut dire que le diagnostic du typhus n'est pas, en vérité, chose bien difficile ; mais il est permis de faire à leur sujet une remarque préalable. Elles sont toutes embarrassées de détails d'une utilité contestable, et qui sont peut-être plus propres à obscurcir ce diagnostic qu'à l'éclairer, parce qu'ils mettent sur la même ligne des signes ou des symptômes qui sont bien loin d'avoir la même valeur caractéristique.

On a, par exemple, en Angleterre, fait grand bruit autour d'une prétendue découverte, consistant en ce que l'invasion du mal serait accusée, sur l'individu qui en est atteint, par une notable élévation de la température de son corps. Le fait en lui-même n'est pas contestable ; il a été vérifié par tous les observateurs ; mais peut-il conserver l'importance qui lui a été attribuée dans le cas particulier, lorsqu'on considère qu'il se présente de même dans toutes les maladies qui débutent par un mouvement fébrile intense ? Cette élévation de la température peut aussi bien faire présager l'apparition prochaine d'une affection sporadique aiguë de l'un des grands appareils d'organes de l'économie animale, que celle du typhus, et survenant inopinément au milieu d'un troupeau de bêtes bovines, elle ne saurait en rien autoriser à diagnostiquer la présence de la peste bovine. Dans le cas de crainte motivée par les circonstances, au sujet de l'invasion probable du fléau, elle peut fournir une indication utile. Envisagée isolément, il n'est pas possible de lui accorder la moindre valeur ; sans quoi l'on s'exposerait à chaque instant, pour se préserver d'un mal imaginaire, à mettre en péril gratuitement la fortune publique. Les terreurs exagérées au milieu d'une épidémie de typhus, sont parfois salutaires. En Angleterre, par exemple, elles n'eussent pas été de trop, dès le début du mal, en 1865 ; mais cependant le sang-froid éclairé vaut toujours mieux.

Ce que nous venons de dire de l'élévation de la température

du corps s'applique également aux autres symptômes généraux, dans la description desquels les auteurs se complaisent. Ces symptômes, relatifs à l'état de la circulation, de la respiration, et même de la digestion, ne sont point non plus particuliers à l'infection typhique, et ce n'est nullement à leur aide que l'on pourrait arriver au diagnostic du mal. Ils se font observer tous les jours, les uns ou les autres, et même tous à la fois, chez les bœufs ou les vaches aux prises avec une péripneumonie ou une entérite assez intense ; et c'est ainsi que bien des fois on a eu à constater de fausses alertes, données par des personnes ayant trop facilement pris à la lettre les relations analytiques qu'elles avaient lues de la symptomatologie du typhus. De curieuses anecdotes pourraient être racontées à cet égard, où l'on verrait des hommes même considérables par leur situation officielle, sinon par leur mérite réel, signaler l'existence du typhus sur des marchés publics ou dans des étables où il n'y en avait pas la moindre trace, pour avoir abusivement accordé une importance excessive à l'un de ces signes généraux auxquels nous faisons allusion.

Cela est arrivé, par exemple, au sujet de la coloration rouge intense de la muqueuse du vagin des vaches, qui se fait aussi bien observer dans certains cas d'affection charbonneuse que dans ceux de peste bovine, et qu'il est même assez rare de ne point rencontrer à l'état normal chez les vaches un peu âgées qui ont fait plusieurs veaux.

La vérité est qu'il n'y a, pour asseoir le diagnostic de la grave maladie dont il s'agit, chez un individu isolé, et indépendamment des lumières fournies par la marche générale de l'épidémie, qu'un seul signe réellement pathognomonique, auquel un observateur attentif et éclairé ne peut guère se tromper. Ce signe, c'est celui de la physionomie caractéristique imprimé par le mal au sujet qui en est atteint, physionomie à laquelle il doit le nom qui lui a été donné en France, c'est le facies typhique ou typhoïde, c'est l'expression de stupeur qui frappe dès le premier abord, annonçant que la source même de la vie a subi une profonde atteinte. Cette physionomie-là, assez difficile à bien définir, mais qu'on n'oublie plus lorsqu'on l'a une fois observée, et qui s'emprunte surtout à l'expression du regard, il suffit d'avoir vu un homme atteint de fièvre typhoïde pour la connaître ; elle accuse, chez tous les mammifères, dont l'œil a les mêmes expressions,

l'altération constitutionnelle de la masse sanguine, temporaire ou définitive, qui lui enlève ses propriétés stimulantes du mouvement vital. Le malade typhique est stupéfié. Le reste des symptômes qu'il manifeste n'est que la conséquence de cet état ; cela complète le tableau par des manifestations qui dépendent en grande partie des dispositions individuelles ; cela n'est pas exclusivement propre à la maladie.

« En résumé, dit M. H. Bouley, lorsque la peste bovine, arrivée à sa période d'état, se manifeste avec l'ensemble de tous ses symptômes, elle imprime à l'habitude extérieure des malades et à leur physionomie quelque chose de si caractéristique qu'il est difficile de la méconnaître.

« Leur tête penchée jusqu'à terre est branlante ; leurs yeux ternes, profondément enfoncés dans les orbites, d'où déborde, vers l'angle nasal des paupières, une humeur purulente ; le jetage épais et sanguinolent qui s'échappe des narines dont les ouvertures sont excoriées et saignantes ; la bave qui s'écoule de la bouche ; la dépilation du chanfrein ; la respiration précipitée avec le bruit de cornage qui l'accompagne ; le voussement de la colonne vertébrale et la convergence des membres sous le corps ; les tremblements musculaires ; la région des fesses et la queue souillées par des matières excrémentitielles, séreuses ou sanguinolentes, d'abord rejetées avec force et ensuite s'extravasant de l'anus demi-ouvert comme d'un vase inerte; la température abaissée, la faiblesse extrême, la prostration, la stupeur, l'amaigrissement général, tout cet ensemble de symptômes qui peut être saisi à première vue, quand on entre dans un étable, ne laisse pas l'esprit en suspens et permet de formuler d'emblée un diagnostic, que l'on n'a plus ensuite qu'à affirmer davantage à l'aide des caractères que l'on peut reconnaître par un examen plus particulier des malades, comme la coloration rouge brique de la conjonctive et de la muqueuse vaginale, les plaies d'apparence ulcéreuse qui résultent, dans la cavité buccale, du détachement de l'épiderme sur le bourrelet, en dedans des joues, sur la langue ; les suintements séreux de la peau dans la profondeur des plis ; l'emphysème sous-cutané, quand il existe ; les indications données par le pouls, par l'odeur de l'air expiré, par la locomotion, par l'attitude couchée, par le mode de relever, etc., etc.

« Somme toute, la peste bovine est une des maladies les mieux

caractérisées qui soient. Sa durée ordinaire est de quatre à huit ou dix jours. »

L'auteur que nous venons de citer admet qu'il y a des cas où le typhus débutant a d'assez grandes ressemblances avec la péripneumonie. Les malades, dit-il, battent des flancs, respirent avec effort, ont un facies inquiet et font entendre une toux répétée et peu retentissante. Mais il ajoute que ces ressemblances s'évanouissent dès qu'on explore l'appareil respiratoire, où ne se trouvent point les signes caractéristiques de l'affection pulmonaire. La méprise a en effet quelquefois, et même assez souvent été commise, en Angleterre et en France, où il est arrivé que sous le coup des craintes qu'inspirait la peste bovine, des cas de péripneumonie ont été pris pour des cas de typhus. Toutefois, ce ne sont pas des observateurs aussi exercés que l'est lui-même le savant vétérinaire, qui ont pu tomber dans une telle confusion. Pour s'y laisser entraîner, dans un sens ou dans l'autre, il faut méconnaître complétement la physionomie typhique dont nous avons parlé plus haut, et négliger de saisir l'ensemble pour se préoccuper trop des détails.

La mortalité causée par la peste bovine n'est pas partout et toujours la même. Elle obéit à ce qui semble être la loi de toutes les maladies épidémiques et contagieuses. Lorsque le typhus sévit dans un pays neuf, ses premières atteintes sont toutes ou presque toutes mortelles, jusqu'à ce qu'elle ait pris une certaine extension. Après un temps plus ou moins long de ses sévices, le fléau paraît ensuite ménager ses victimes, et il y a moins de morts parmi les sujets atteints. On serait tenté de croire qu'il s'acclimate et devient en quelque sorte bénin. Dans les steppes de la Russie méridionale, par exemple, où il s'est établi de temps immémorial, il lui arrive parfois de se manifester d'une façon tellement peu accentuée, que l'individu atteint peut ne pas être reconnu malade au milieu du troupeau dont il fait partie. C'est du moins ce que nous ont rapporté les vétérinaires russes qui observent le typhus en ces régions éloignées. Puis, tout à coup, sous l'influence de circonstances encore indéterminées, la peste bovine y acquiert une gravité comparable à celle qui lui est propre dans les pays occidentaux.

Selon M. H. Bouley, qui a résumé, d'après Gerlach, les faits observés jusqu'à ce jour, la mortalité causée par le typhus est

de 90 à 95 pour 100 dans les contrées les plus occidentales de l'Europe ; elle décroît à mesure que l'on se rapproche de la région des steppes, et peut-être représentée, dit-il, suivant les lieux et les temps, par les chiffres de 75, 50 et 30 pour 100.

Ces chiffres montrent que la peste bovine est à beaucoup près la plus grave de toutes les maladies qui peuvent sévir sur le bétail, et justifient la terreur qu'elle inspire, si l'on y joint surtout la subtilité infaillible de sa contagion, dont nous parlerons tout à l'heure. Auparavant, il nous faut dire les lésions qu'elle laisse sur les cadavres des animaux qu'elle tue.

Il en est de ces lésions comme des symptômes observés sur les animaux vivants. Parmi elles, une seule est vraisemblablement caractéristique ; mais, à son égard, nous ne sommes pas encore aussi avancés que pour ce qui concerne la symptomatologie. Les descriptions très-nombreuses que nous possédons de l'anatomie pathologique du typhus ne laissent pas, lorsqu'on les analyse avec un esprit critique suffisant, l'impression de quelque chose qui exclue le doute. Des recherches microscopiques poursuivies en Angleterre, lors de l'épidémie de 1865, par des médecins un peu trop étrangers peut-être à la pathologie vétérinaire et à coup sûr trop enclins à l'hypothèse, on fait accorder de l'importance à certaines productions histologiques du sang et des tissus, que des études comparatives n'eussent point manqué de réduire à leur juste valeur. Il convient donc de s'en tenir aux lésions signalées depuis bien longtemps par les vétérinaires russes et allemands qui ont décrit la peste bovine. Ces lésions ont pour elles l'avantage d'avoir résisté aux discussions approfondies que leur on fait subir de nombreux praticiens d'une expérience consommée, dans les congrès internationaux où le typhus était le principal objet à l'ordre du jour.

On constate leur existence principalement dans l'appareil digestif. Nous en emprunterons l'exposé à M. H. Bouley. « La muqueuse de cet appareil, dit-il, est le siége, depuis la bouche jusqu'à l'anus, d'une injection vasculaire qui se traduit par une teinte rouge brique, plus ou moins foncée, uniforme dans de certaines régions et se caractérisant dans d'autres par des nuances de différents tons, irrégulièrement disposées.

« A ce caractère, commun à toute la membrane muqueuse digestive, s'en ajoute un autre : le détachement de l'épithélium

dans toute son étendue, visible à l'œil nu ou à l'aide d'instruments grossissants, suivant le lieu de l'appareil digestif que l'on considère. Ainsi dans la bouche, le pharynx, l'œsophage, le rumen, le réseau, le feuillet, l'épithélium se sépare de sa muqueuse sous forme de plaques plus ou moins étendues qui laissent à nu le tissu de la membrane très-injecté, et d'une couleur rouge foncé, particulièrement dans la bouche et dans le rumen. Dans ce dernier organe, on constate souvent, outre ces sortes d'excoriations par dénudations épidermiques, des taches d'un rouge presque noir, disséminées irrégulièrement, visibles à travers l'épithélium encore adhérent, et qui ne sont que l'expression de petites extravasations capillaires.

« La muqueuse de la caillette reflète une teinte rouge brique générale avec des nuances plus foncées sur le sommet des duplicatures, et ses taches, les unes plus foncées également, les autres plus claires, qui lui donnent un aspect marbré. Dans un grand nombre de sujets, elle est souvent criblée d'une multitude d'ulcérations superficielles, et, dans des cas plus rares, on y constate des plaques gangréneuses d'une teinte grise, autour desquelles des sillons disjoncteurs peuvent être vus, plus ou moins profondément creusés, suivant que la vie des animaux s'est plus ou moins prolongée après la manifestation de la maladie.

« Dans l'intestin grêle, le côlon, le cæcum, le côlon flottant et le rectum, on voit se dessiner sur la muqueuse, d'une couleur rouge moins accusée que celle de la caillette, une sorte de réseau irrégulier à grandes mailles, formé par les teintes plus foncées du sommet des plis longitudinaux et transverses. L'examen microscopique fait constater, sur toute l'étendue de cette muqueuse, la destruction de l'épithélium, et l'exsudation, à la surface de cette membrane, d'une substance d'apparence caséeuse et de matière purulente.

« Les plaques de Peyer sont souvent altérées. On peut les rencontrer, soit seulement gorgées de sang et présentant alors une teinte rouge plus ou moins foncée, soit avec leurs follicules remplis d'une matière d'apparence purulente, et se dessinant en un relief assez saillant, ce qui, avec l'auréole rouge qui circonscrit leur groupe, donne à la plaque tout entière la forme d'une agglomération de petites pustules. Ces plaques ne sont pas toujours immédiatement visibles lorsqu'on ouvre l'intestin ; dans un assez

grand nombre de cas, elles se trouvent revêtues d'une couche exsudée, de consistance caséuse, qui adhère légèrement à leur surface, et qu'il faut détacher par le grattage pour les mettre à nu.

« La muqueuse du gros côlon et du cæcum, vergettée comme celle de l'intestin grêle, est souvent hérissée d'une multitude de petits prolongements fibrineux, qui sont comme implantés sous le tissu de la membrane, et laissent voir, lorsqu'on les détache, autant de petites ulcérations assez profondes, aux points où ils s'inséraient.

« D'après le docteur Braüell, de Dorpat, la lésion caractéristique du typhus, dans l'appareil digestif, serait le détachement de l'épithélium de la muqueuse qu'il revêt, détachement qui s'opérerait ; soit en grande étendue, soit par places isolées...

« Une des particularités les plus curieuses que l'on a constatées dans le typhus et qui se rencontre assez fréquemment dans les animaux dont la maladie s'est prolongée au delà de quatre ou cinq jours, c'est la présence dans le tissu de la muqueuse intestinale, d'une espèce de pigmentum, analogue par l'apparence à de la matière mélanique, qui est tantôt répandue d'une manière diffuse, et donne alors à la membrane une couleur noire très-finement pointillée, et tantôt disposée en lignes, formant un réseau, comme les lignes rouge du sommet des plis... »

La muqueuse des voies respiratoires laisse voir les mêmes lésions, seulement moins accentuées. Presque constamment, on constate dans le poumon de l'emphysème interlobulaire.

Les médecins qui liront ces pages seront frappés de l'analogie qui existe entre les principales lésions de la peste bovine et celles qui appartiennent à la fièvre typhoïde de l'homme. Cette analogie est la même pour certaines formes graves de l'affection typhoïde du cheval, qu'il n'est pourtant pas possible de confondre avec la peste bovine, nettement distincte, surtout par son caractère éminemment contagieux. Ce n'est donc point par son anatomie pathologique actuellement connue qu'il serait possible d'établir la caractéristique de cette peste.

Longtemps, on a cru qu'elle était particulière, non-seulement à ce que l'on appelait l'espèce bovine, mais encore spécialement à la race qui peuple les steppes de la Russie méridionale. Nous verrons ce qu'il faut penser sur ce dernier point ; faisons remar-

quer dès à présent que les faits observés dans la dernière épidémie de l'Europe occidentale établissent qu'aucun animal ruminant n'en est absolument exempt. On l'a vue même sur un pécari du jardin d'acclimatation de Paris. Toutefois ce n'est que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles que la contagion atteint les ruminants autres que ceux du genre Bos. Des expériences directes tentées à Édimbourg, par MM. les professeurs H. Bouley et Chauveau, pour communiquer par cohabitation le typhus à des moutons, sont restées infructueuses.

Les quelques cas connus de manifestation du typhus sur ces animaux, et dont plusieurs sont fortement sujets à contestation, pour ce qui concerne les moutons, ne sont donc point suffisants pour enlever à la maladie son nom de peste bovine. Si, sous l'influence d'un foyer intense de contagion, d'autres ruminants que les bœufs peuvent être infectés, il n'en faut pas tant pour que ceux-ci subissent l'influence de la contagion. Il suffit, comme nous l'avons déjà dit, de la présence d'un seul individu malade au milieu d'un groupe quelconque d'animaux d'espèce bovine, pour que la maladie se communique infailliblement à tous ces animaux.

C'est la connaissance des modes de transmission de l'agent virulent qui est le point capital, dans l'étude de la peste bovine. Seule cette connaissance peut guider sûrement, en effet, dans le choix des mesures à prendre en vue de l'hygiène publique et de la police sanitaire. Il n'importe pas seulement de préserver le bétail des atteintes du fléau, il faut encore que le résultat soit obtenu sans faire subir à la fortune publique des pertes superflues, par des entraves imposées inutilement aux transactions commerciales. Certes, il vaut mieux, comme on l'a dit quelquefois, dépasser à cet égard le but que de rester en deçà. L'on comprend que l'administration publique, préoccupée surtout de sa responsabilité, fasse bon marché des intérêts qu'elle peut froisser, afin de ne point manquer le but de préservation qu'elle doit avant tout viser. Mais il n'y en a pas moins lieu de prendre garde à ne point produire un mal certain pour en éviter un autre qui serait plus que douteux. Le rôle de la science est de déterminer avec toute la précision possible la limite qui sépare les sacrifices nécessaires de la liberté des citoyens, des mesures qui seraient vexatoires en vertu de leur inutilité démontrée. C'est pourquoi, dans

les conjonctures dont il s'agit, on ne saurait confier à des hommes trop éclairés et de trop de sang-froid surtout, la défense des intérêts si complexes que la menace d'une invasion de la contagion du typhus met en péril.

Ce n'est pas au milieu d'une épidémie déjà développée, et alors qu'existent de toutes parts, dans un pays, des foyers d'infection, que l'on peut bien étudier les modes de propagation des maladies contagieuses, surtout de celles dont la virulence est en réalité aussi subtile que l'est celle de la peste bovine. Il arrive que l'on se contente en ce cas, pour se rendre compte de la production des faits observés, d'explications qui, soumises ultérieurement au contrôle d'une méthode rigoureuse de raisonnement, ne peuvent plus en supporter l'examen. Pour qu'une relation entre deux faits successifs soit admise comme nécessaire, en science, il ne suffit point de l'impossibilité actuelle d'expliquer autrement le phénomène; il faut encore qu'il soit prouvé que ce phénomène n'a point pu avoir une autre cause que celle qui lui est attribuée.

Dans les rapports que nous avons sur la propagation du typhus dans les divers pays de l'Europe occidentale, on rencontre à chaque instant des assertions concernant les agents de cette propagation, qui n'ont pas, il faut bien le dire, d'autre valeur que celle d'une simple affirmation. Renault, qui s'était particulièrement occupé de ce côté de la question du typhus, le plus important de tous au point de vue de l'intérêt public, et qui apportait dans ses investigations une sûreté de méthode que personne n'a surpassée; Renault a fait évanouir devant ses démonstrations péremptoires bon nombre de ces assertions avancées à la légère sur les agents de la contagion. Dans tous les cas qu'il a examinés avec la lenteur méticuleuse d'un esprit auquel les apparences ne suffisent pas, ne reculant devant aucune des difficultés des enquêtes auxquelles il se livrait, partout où la peste bovine s'était propagée il lui a toujours été possible de démontrer qu'elle y avait été apportée par des animaux vivants infectés ou par des débris frais de ces animaux.

Ce que l'on nous a dit de la communication de la virulence typhique par des fourrages ou des fumiers, par des vêtements de personnes ayant été en rapport médiat ou immédiat avec des malades, ou par de tout autres matières qui se seraient chargées de

cette virulence, tout cela n'a jamais été appuyé que sur des faits qui se seraient produits dans des pays où la maladie régnait déjà avec une grande intensité, comme récemment en Angleterre et en Hollande. La virulence typhique se transmet par l'intermédiaire de l'air. C'est ce qui n'est point contesté. On ignore encore les limites exactes de l'atmosphère contagieuse, qui dépendent évidemment de circonstances très-variables, parmi lesquelles les courants d'air et la disposition des reliefs du sol doivent être mis au premier rang. Les matières virulentes répandues dans cette atmosphère peuvent être portées plus ou moins loin, et il n'est plus douteux maintenant qu'elles agissent en raison de leur quantité. Leur transport et la contagion qui en peut résulter dépendent donc du degré de diffusion dans l'air que produisent les mouvements de l'atmosphère. Disséminés au delà d'une certaine mesure, elles n'agissent plus. C'est ce qu'ont démontré les expériences directes de M. Chauveau sur plusieurs matières virulentes, dont il convient de ne pas confondre les résultats très-positifs avec l'interprétation hypothétique qu'il en a donnée.

En présence de tels faits acquis à la science, on voit facilement le peu de solidité des suppositions qui attribuent la contagion de la peste bovine aux objets dont nous venons de parler. Il est arrivé aussi parfois, comme en Belgique, par exemple, que, comptant bien gratuitement sur les défenses comminatoires d'introduction des animaux venant d'un pays infecté, l'on s'est cru autorisé à attribuer l'apparition de la maladie à la présence supposée d'objets contaminés. C'est ainsi que l'on a expliqué, à diverses reprises, les manifestations du typhus constatées chez nos voisins, après la promulgation des règlements sévères édictées par le pouvoir administratif. A Hasselt, notamment, où il a fallu abattre la presque totalité de la population bovine de la ville, on n'a pas hésité à admettre, sans la moindre preuve, que la peste bovine y avait été apportée dans ses vêtements par un certain marchand hollandais. C'est au moins témoigner d'une confiance bien exagérée dans l'efficacité des mesures purement administratives, pour garder contre le passage des animaux suspects une frontière du genre de celle qui sépare la Belgique de la Hollande, infectée alors au plus haut point. Quand on sait l'impossibilité de distinguer une vache hollandaise d'une vache belge et la facilité avec laquelle l'instinct commercial des marchands juifs

se joue des simples défenses qu'on lui oppose, l'incrimination des vêtements est la dernière de celles qui doivent se présenter à l'esprit en pareil cas, en fût-on réduit même à se contenter de l'hypothèse d'un transport de la matière virulente par les vents.

Mais auparavant il faudrait établir d'une manière bien nette qu'il n'y a point pu avoir de communication avec un animal infecté, qu'aucun animal nouveau n'a été introduit depuis longtemps dans la localité. On peut hardiment soutenir qu'en aucun cas cette condition n'a été remplie. Müller, du reste, a nettement établi, dans un récent mémoire (*Magazin* de Gurlt et Herwig, 4e trimestre de 1869), l'importation du typhus à Hasselt par quinze vaches laitières venant de la Hollande. Jamais on n'a vu nulle part la peste bovine être introduite en un pays quelconque de l'Europe occidentale autrement que par des animaux vivants ; et cela seul est probant, dans la question qui nous occupe.

Une fois qu'elle y est introduite et qu'elle s'y est propagée sur une certaine surface, la question devient dès lors trop complexe pour que les observations recueillies d'une ferme ou d'un village à l'autre puissent servir à son éclaircissement. Il devient trop difficile, à partir de ce moment, de séparer ce qu'on appelle l'influence épidémique de la contagion proprement dite, pour que les conclusions aient la moindre valeur scientifique. Pour mieux dire, cela est tout à fait impossible.

Nous insistons sur ce sujet parce qu'il est capital au point de vue de la police sanitaire, eu égard aux intérêts respectables et d'ailleurs très-considérables dont nous avons parlé plus haut. Il n'est pas indifférent que les mesures restrictives imposées aux transactions des peuples, en cas de danger de propagation de la peste bovine, transactions qui sont une des parties les plus chères de leur liberté, soient bornées à ce qui est démontré strictement nécessaire. De cette liberté, bien des personnes se montrent malheureusement disposées à faire bon marché, lorsqu'elles s'y trouvent intéressées et que les restrictions ne les atteignent point directement. Il est bon pourtant que nous en ayons tous le respect et que nous ne nous laissions pas légèrement entraîner à y porter la moindre atteinte, si petite qu'elle soit.

Dans l'état actuel de la science, ce qui est seulement démontré, c'est donc que les animaux atteints du typhus propagent infailliblement la maladie par contagion. Il est probable que leurs débris

frais jouissent, durant un certain temps, encore indéterminé, de la même propriété. Les recherches et les expériences de Renault ont prouvé que ces mêmes débris, desséchés ou ayant subi des préparations conservatrices, les peaux, les poils, les cornes, les laines, etc., ne font courir à l'hygiène publique aucun risque de contagion.

Il reste, dans l'histoire des modes de propagation de la maladie, un autre point très-important, pour l'établissement des bases de la police sanitaire. Après combien de temps les premiers symptômes de la peste apparaissent-ils chez les sujets contaminés? en d'autres termes, quelle est la durée de ce qui a été improprement nommé la période d'incubation? On comprendra l'importance d'une telle question, si l'on songe que de sa solution dépend la durée de la quarantaine imposée aux animaux venant des pays infectés, et qu'un écart de quelques jours en pareil cas peut se chiffrer par des millions de francs au bénéfice ou au détriment des transactions commerciales internationales, qui sont, dans nos sociétés modernes, l'un des éléments particuliers du bien-être des peuples.

Il faut s'en rapporter, en un tel sujet, qui relève exclusivement de l'observation pure, aux avis formulés par les hommes les plus compétents. Trois congrès vétérinaires internationaux successifs, où se trouvaient réunis tous ceux qui ont le plus étudié la peste bovine en Russie, en Autriche et en Allemagne, ont déclaré que le délai qui s'écoule entre le moment où l'animal subit la contagion et celui de l'apparition des premiers symptômes ne dépasse pas dix jours. En présence de cette déclaration, on ne saurait s'arrêter à l'expression de quelques opinions isolées, tendant à faire admettre une période plus longue. En Prusse, on impose au bétail suspect une quarantaine de vingt et un jours; mais ce n'est pas la seule exagération de précautions sanitaires dont les Prussiens nous offrent l'exemple.

II

La peste bovine est ce que les Allemands appellent une *contagion*, et ils entendent par là que les conditions déterminantes de son apparition spontanée ne se trouvent point réunies dans leur pays,

qu'elle y est toujours venue des contrées situées en dehors de leurs frontières. Le fait est certain, et à plus forte raison pour les autres pays de l'Europe occidentale, la peste, lorsqu'elle a sévi en Allemagne, y ayant toujours été importée par ses frontières du sud-est, venant le plus souvent de l'Autriche.

Les vétérinaires autrichiens, de leur côté, considèrent que la maladie leur vient des steppes de la Hongrie et de la Bessarabie. Il en est de même pour les Italiens. Buniva et Métaxa l'ont nommée, pour ce motif, maladie bos-hongroise et peste bovine hongroise.

Les Russes, qui l'observent dans leurs troupeaux des steppes de la Russie méridionale, ne savent pas au juste jusqu'où elle s'étend, du côté de l'orient. Ceux que nous avons pu interroger pensent qu'elle va jusqu'à l'Oural.

L'opinion la plus accréditée en Europe est que la peste bovine a son origine dans cette vaste étendue de steppes qui borde les rivages de la mer Caspienne et de la mer Noire, occupée par les troupeaux de bœufs appartenant à cette race qui nous est connue sous le nom de race des steppes ou hongroise, aux poils gris sale et aux longues cornes en forme de lyre.

Renault, aux savants travaux de qui nous avons rendu hommage précédemment, attribuait à cette race la faculté exclusive de contracter spontanément le typhus, dont elle aurait ainsi le triste privilége. La vérité est que dans toutes les investigations auxquelles il s'est livré, durant la plus grande partie de sa carrière, sur les diverses apparitions de la peste bovine en Europe et en Afrique, il lui a toujours été possible de mettre en lumière la présence d'un animal au moins de la race des steppes, sur le lieu d'apparition de la maladie.

Nous avons été le premier, croyons-nous, et jusqu'à présent le seul peut-être, à faire remarquer que, si un tel fait, d'ailleurs incontestablement établi, prouve évidemment que la peste bovine a toujours été partout introduite par des animaux venus de la région des steppes, il n'en résulte pas nécessairement que le développement de la maladie, dans le pays d'origine de ces animaux, soit dû à une aptitude particulière de leur race, plutôt qu'aux conditions dans lesquelles elle vit, conditions qui pourraient agir de même sur toute autre race qu'on placerait dans le même milieu.

Ces réserves, formulées alors d'après de pures considérations de pathologie générale et de méthode, ont reçu des connaissances acquises depuis une singulière force, ainsi qu'on va le voir ; car nous savons maintenant, à n'en plus douter, que les steppes de la Russie méridionale ne sont point le lieu d'origine de la peste bovine, et qu'il faut aller bien autrement loin, du côté de l'Orient, pour le trouver. Depuis que l'occupation française de la Cochinchine a conduit nos vétérinaires en ces régions éloignées et les y a fait établir, deux d'entre eux, M. Condamine et M. Germain, nous ont transmis des relations d'épidémies de typhus qu'ils y ont observées sur les bœufs et sur les buffles de notre colonie. Ainsi se trouve établi ce fait considérable, de nature à faire cesser toutes les discussions qui se poursuivaient depuis si longtemps entre les vétérinaires russes, sur le point précis de l'immense étendue des steppes de l'Europe méridionale où la peste bovine prend naissance, que là aussi elle est importée par la contagion. Cette contagion, partie de l'extrême orient de notre hémisphère, se répand en Chine, en Perse, en Russie, en Hongrie, puis en Autriche, d'où elle nous vient.

Il est donc évident maintenant que la peste bovine a la même origine que le choléra; qu'elle prend naissance sur quelque point du littoral de la mer des Indes, comme le choléra, sous l'influence de l'insalubrité bien connue de ces régions lointaines, et que l'Europe ne la voit point naître non plus spontanément. Il n'est pas possible, en effet, d'admettre que les Cochinchinois l'aient reçue de l'Europe. Les mouvements du bétail, pas plus que ceux des populations humaines, ne se sont jamais effectués d'occident en orient, mais bien d'orient en occident, ainsi que l'histoire tout entière de l'humanité en témoigne.

En second lieu, il est non moins évident désormais que le développement de la maladie est inhérent aux conditions de localité, et pas du tout à celles de la race bovine qui l'a toujours, en réalité, importée en Europe occidentale ; que cette maladie, endémique sur les confins orientaux de l'Asie, est épidémique en Europe, où elle est, en d'autres termes, toujours entretenue ou importée par la contagion.

Cela bien établi, nous allons montrer à présent par quelles voies la peste bovine s'est introduite, vers le milieu de l'année 1865, en Angleterre, où elle a fait tant de ravages, et en même temps

en Hollande, d'où elle s'est irradiée ensuite pour gagner la Belgique et la France. Mais, d'abord, on ne saurait trop appeler l'attention sur les circonstances qui ont permis au fléau de prendre en Angleterre une si grande extension.

La première et principale de ces circonstances, c'est que la véritable nature de la cattle-plague y a été méconnue durant une longue période de jours. Pendant qu'on discutait, dans les journaux anglais, sur le sujet, et que, chacun, suivant l'usage du pays, y disait son mot, un temps précieux se perdait et la peste bovine, avec cette subtilité de contagion que nous lui connaissons, gagnait l'une après l'autre les vacheries de Londres et se répandait dans les comtés par les animaux venus au marché métropolitain. L'état précaire de la science vétérinaire en ce pays, et le peu d'autorité dont y jouissent ses représentants, pour des raisons faciles à comprendre, mais que nous n'avons pas à examiner ici, enlevaient tout crédit à ceux d'entre eux qui, dès le début, avaient reconnu les véritables caractères de l'épidémie et affirmaient sa provenance exotique. L'opinion la plus généralement admise, et malheureusement acceptée par le gouvernement, était que l'épidémie, due aux mauvaises conditions des vacheries de la ville de Londres, avait pris naissance sur le sol anglais.

Émue par les nouvelles de plus en plus alarmantes venues d'outre-Manche, l'administration française de l'agriculture donna mission à M. H. Bouley, alors professeur de clinique à l'école d'Alfort, d'aller étudier, sur les lieux, l'état des choses. Bien avant que ces choses nous eussent été révélées par la presse anglaise, son collègue, M. Reynal, préoccupé des risques que pouvaient faire courir à notre pays les nouvelles relations commerciales, en matière de bétail, tendant à s'établir entre les provinces autrichiennes et la France, les avait signalées à cette même administration. Il était, de son côté, parti pour l'Allemagne, avec la mission d'étudier, à ce point de vue, les détails de ces relations.

Dès son arrivée à Londres, M. Bouley n'eut pas la moindre hésitation dans son diagnostic. Il fut évident pour lui que les Anglais avaient affaire à la peste bovine, et qu'il y avait lieu, avant tout, de lui appliquer les mesures sanitaires dont l'efficacité a été tant de fois démontrée en Allemagne, puis de rechercher la voie par laquelle elle avait pénétré sur le sol britannique.

De l'enquête à laquelle il se livra, avec le concours de ses con-

frères anglais, il est résulté qu'un convoi de bœufs, formé par des spéculateurs dans la région des steppes russes, avait été conduit, par les voies ferrées, jusqu'au port de Revel, en Esthonie, où il avait été embarqué pour l'Angleterre. L'expéditeur avait donné au commissionnaire l'ordre de présenter ce convoi sur le marché, et, au cas où il n'en pourrait point tirer le prix fixé, de le rembarquer pour la Hollande et de le mettre en dépôt dans les environs de Rotterdam.

Pour ce convoi, les choses se passèrent ainsi qu'elles avaient été prévues, et il dut rétrograder vers Rotterdam. Durant la traversée, et après l'arrivée, plusieurs des bœufs qui le composaient succombèrent au typhus. Leur séjour sur le marché anglais avait communiqué la contagion aux bêtes présentes, qui la propagèrent ensuite dans toutes les directions où elles se répandirent. Il la communiqua de même sur le rivage hollandais; et c'est ainsi que la Hollande et l'Angleterre furent infectées.

Avant les faits que nous venons d'exposer sommairement, il n'y avait eu, dans les deux pays, aucune manifestation de l'épidémie.

La mise en lumière de ces faits, avec l'autorité qui s'attachait à la qualité du représentant de la science française, fit ouvrir les yeux aux Anglais et mit fin aux incertitudes et aux controverses. Le mal avait, dès lors, pris une trop grande extension pour qu'on pût l'éteindre de sitôt, mais il n'y eut plus d'hésitation sur la voie dans laquelle il convenait de s'engager pour borner ses ravages et arriver au but.

Nous avons entendu M. Bouley lui-même, dans une circonstance où il lui était fait honneur des résultats de sa mission en Angleterre, reporter sur les vétérinaires anglais qui, dès le début de la cattle-plague, en avaient signalé la véritable nature, la plus grande partie de cet honneur. La vérité exige qu'en cette affaire les rôles soient appréciés tout autrement. Que M. Simonds, par exemple, eût reconnu la peste bovine et l'eût dénoncée, il n'en est pas moins certain que, pour un motif quelconque, il n'avait pas eu le bonheur de convaincre ses compatriotes de l'exactitude de son diagnostic. Ce motif est probablement qu'il ne s'était point trouvé en mesure d'en fournir la démonstration péremptoire, qui l'eût fait accepter. Là était le vrai service à rendre, et c'est M. Bouley qui l'a rendu. Aussi, lorsque le Parlement an-

glais s'est occupé de l'acte qu'il a rendu sur la cattle-plague, n'est-ce point M. Simonds, mais bien M. Bouley, qu'il a appelé dans son sein pour s'éclairer de ses avis.

Tandis que ces choses se passaient en Angleterre et en Hollande, et que le typhus y prenait une rapide extension, l'administration française, avertie ainsi de science certaine par son délégué, se disposait à prendre des dispositions préservatrices et à fermer notre frontière du Nord et nos ports de l'Océan aux provenances des pays infectés; on apprit que la maladie venait de se manifester dans un village du département du Nord, à Watterlos, où une vache achetée dans les environs de Malines l'avait introduite. Mais, à peine apparue, elle y fut éteinte aussitôt par la vigilance éclairée du vétérinaire départemental, M. Pommeret. Peu de temps après, elle se manifestait de nouveau dans une localité du Pas-de-Calais, où elle faillit prendre de l'extension, à cause de l'inexpérience pathologique de l'inspecteur général des écoles vétérinaires, M. Lecoq, envoyé par l'administration pour prescrire et diriger l'exécution des mesures sanitaires; avertie de la faute commise, celle-ci expédia aussitôt, fort heureusement, l'ordre d'agir vigoureusement, comme il convient en pareil cas.

En somme, ce sont là les deux seuls points de notre territoire que le typhus ait visités, à part le jardin d'acclimatation du Bois de Boulogne dont nous parlerons tout à l'heure, et il faut ajouter que le fait s'est produit alors qu'on n'était pas encore averti. Le nombre des animaux morts ou abattus n'a pas dépassé une quarantaine. Tel est là le seul tribut que nous ayons eu à payer, depuis 1814, à la peste bovine.

Un zèle un peu intempestif fit signaler, au moment où les faits que nous venons de raconter se produisaient, le typhus dans les environs de Douai. Il y avait été importé, disait-on, par des vaches venues du marché d'Arras. Le vétérinaire départemental, M. Lenglen, inspecteur de ce marché, dont la responsabilité se trouvait doublement engagée en sa double qualité, se montra, en cette occurrence, défenseur aussi ferme qu'éclairé des graves intérêts qui lui étaient confiés. Il contesta formellement, et avec une énergie d'argumentation qui n'était pas de trop en pareil cas, le diagnostic de son confrère de Douai, bien que ce diagnostic eût l'appui de l'inspecteur général et de quelques autres personnes également haut placées dont la hiérarchie vétérinaire. Il

n'est pas besoin d'ajouter maintenant que ce fut avec grande raison, puisqu'on sait fort bien que l'arrondissement d'Arras est resté indemne de typhus, ce qui n'aurait certainement pas eu lieu, si des animaux malades, ou même seulement suspects, eussent séjourné sur le marché incriminé. On dit (et c'est au moins fort probable) que le fait dont il s'agit n'a pas été étranger au changement de titulaire qui s'est opéré peu de temps après dans l'inspection générale des écoles vétérinaires françaises, changement qui donna M. H. Bouley pour successeur à M. Lecoq!

La Belgique, plus rapprochée, d'ailleurs, du foyer d'infection hollandais, ne parvint pas aussi bien que nous à s'en préserver. La peste bovine se montra, sur son territoire, à diverses reprises; mais elle y fut éteinte promptement chaque fois et ne prit pas d'extension. L'histoire de la dernière épidémie, dans ce pays, porte cependant à se poser ce dilemme: ou bien les apparitions du typhus n'y ont pas été aussi fréquentes qu'on l'a dit, et il n'y a eu le plus souvent, ainsi que certaines personnes le pensent, que des excès de zèle; ou il y a lieu de douter fortement de l'efficacité des mesures administratives les plus sévères, auxquelles on a eu recours en Belgique, dès le début, pour prévenir l'importation de la contagion.

Au milieu de ces circonstances, qui tenaient l'attention éveillée, on apprit que la maladie venait d'être constatée sur plusieurs animaux du jardin zoologique d'acclimatation de Paris, situé, comme on sait, dans l'intérieur du Bois de Boulogne. M. Leblanc père, vétérinaire du Jardin, l'avait reconnue, et son diagnostic fut confirmé par MM. H. Bouley et Reynal. On constata que le mal s'était d'abord montré sur une jeune gazelle récemment introduite. Cette gazelle avait séjourné dans les docks de Londres, où la maladie lui avait été évidemment communiquée. Les animaux atteints furent sequestrés et attentivement surveillés, et, en raison de la situation isolée de l'établissement dont il s'agit, la contagion s'éteignit sur place, après avoir fait des victimes peu nombreuses, vu l'absence de sujets d'espèce bovine, son aliment de prédilection.

Cet événement nous conduit à l'année 1866, jusque vers le milieu de laquelle notre frontière de l'Est n'avait causé aucune inquiétude sérieuse. Les États voisins, en temps ordinaire, font bonne garde pour ne point laisser envahir leurs territoires. Mais

alors éclata, entre les deux grandes puissances de la confédération germanique, le conflit armé qui eut sa solution à Sadowa. Nous l'avons déjà dit, quand les armées autrichiennes se mettent en marche, la peste bovine est leur compagne obligée, et, lorsque toutes les forces d'un pays sont dirigées vers ce jeu stupidement féroce de la guerre, il n'y en a plus pour assurer la sécurité à la fortune des citoyens. La peste bovine entra donc sans encombre dans les États allemands, où campèrent, durant la campagne, les soldats de l'Autriche avec leurs approvisionnements. Au fléau de la guerre succéda, comme d'usage, celui du typhus. La paix faite, on se mit en devoir de l'éteindre; mais il avait eu le temps de s'étendre et de visiter la Bohême, la Bavière, la Prusse, puis la Suisse et le Tyrol, et d'y faire de nombreuses victimes.

En 1867, sa présence fut signalée et constatée dans le Palatinat. M. H. Bouley, après avoir examiné sur les lieux l'état des choses, fit prendre, par le préfet du Bas-Rhin, un arrêté des plus sévères, pour défendre l'entrée, sur le territoire français, de tout ce qui pouvait être considéré, d'après lui, comme capable d'y importer la contagion. Bientôt un cas de typhus s'étant montré, disait-on, au village de Bobenthall, à quelques kilomètres seulement de notre frontière, l'administration de l'agriculture, sur la proposition de l'inspecteur général des écoles vétérinaires, nous fit l'honneur de nous confier la mission d'aller prendre, de concert avec les autorités bavaroises et françaises, les mesures préservatrices nécessaires et la direction du service sanitaire qui devait en assurer l'efficacité. Cela nous a permis d'étudier de près le système de défense organisé en Allemagne et de le voir à l'œuvre; et une fois la *Rinderpest* éteinte dans le Palatinat, on put faire lever les interdictions rigoureuses, devenues inutiles, pour leur substituer de simples mesures de surveillance, ne mettant que le moins possible obstacle aux transactions commerciales. C'est ainsi que nous dûmes rester durant plusieurs mois à surveiller le poste de Wissembourg, tandis que nos deux amis, M. Imlin, de Strasbourg, et M. Zündel, de Mulhouse, étaient, de leur côté, chargés, le premier du pont de Kehl, et le second du passage de Saint-Louis. Nous avons été assez heureux pour que la peste bovine ne pénétrât point en France par la frontière de l'Est, malgré les importations journalières de bétail, soit pour la consommation locale, soit pour l'approvisionnement de Paris.

Durant ce temps, l'épidémie s'éteignait complétement en Angleterre et en Hollande, et son histoire se terminait, car on n'y saurait rattacher les apparitions que la peste bovine a faites depuis dans la Prusse orientale et dans les provinces de l'empire d'Autriche. Ce sont là de simples exacerbations d'un état constitutionnel. La maladie n'est jamais entièrement absente de ces régions, et il importe beaucoup pour nous de ne point l'ignorer, attendu que cela doit dicter la conduite de l'administration chargée, chez nous, d'assurer la police sanitaire de notre bétail.

III

Notre arsenal législatif est d'une richesse surabondante en règlements ayant pour but de préserver le bétail des maladies contagieuses en général, et du typhus en particulier. Nos pères, qui nous ont légué cette succession luxueuse, édictant les peines les plus graves contre les contrevenants aux prescriptions de l'autorité, ne paraissent pas avoir douté un seul instant qu'ils aient fait en cela des œuvres bonnes et utiles. Le principe d'autorité, apparemment, s'est fort affaibli en nous, depuis la Révolution, car nous ne nous sentons plus aucun respect pour ces injonctions comminatoires, nous les considérons comme parfaitement surannées et attentatoires à la fois à la dignité des citoyens et au respect qui est dû à leurs propriétés. Nous leur faisons, en outre, un plus grand reproche : c'est d'être absolument inapplicables, dans l'état de nos mœurs, et partant inutiles. Les derniers événements doivent avoir, à cet égard, convaincu les moins bien disposés parmi ceux qui ont pris la peine de les étudier.

Pourtant les règlements sanitaires de l'ancien régime subsistent, et on a cru devoir les rappeler aux intéressés, à l'occasion de la dernière épidémie de typhus. Leur abrogation est renvoyée jusqu'à la promulgation du nouveau code rural, que les calendes grecques verront peut-être aboutir. Le projet préparé, en ce qui concerne les maladies contagieuses du bétail, ne laisse guère de place à la critique ; il est conçu dans un excellent esprit ; on ne peut lui reprocher que de témoigner encore d'une trop grande confiance en l'efficacité des prescriptions réglementaires, et de

n'être pas assez inspiré par ce fait que la valeur des prescriptions de cette sorte se tire surtout de l'aptitude et de l'activité des agents de leur exécution.

Nous rendrons complétement notre pensée à cet égard en disant que la protection des intérêts publics, en ces matières, ne doit pas être réglementaire, mais bien effective. A ce seul prix elle sera toujours efficace.

Lorsqu'on étudie, par exemple, pour ce qui concerne la *Rinderpest*, les règlements adoptés d'un commun accord par les divers États de l'Allemagne, on y rencontre, il est vrai, un certain luxe de prescriptions dont la nécessité n'est pas absolument démontrée; mais l'observateur attentif y découvre tout de suite un côté pratique auquel il s'attache particulièrement. C'est ce côté que l'on saisit sans peine lorsqu'on a pu assister à leur exécution. Les conventions allemandes ont eu surtout pour objet d'organiser la guerre contre l'extension du typhus, et, ce qui importe le plus, elles ont désigné d'avance le personnel qui sera chargé de cette guerre, et indiqué le rôle et la place de combat de chacun, au lieu de rester dans les régions abstraites de la réglementation comminatoire. Là est le secret de leur efficacité.

Cette même voie, c'est en réalité celle qui a été suivie chez nous lors de la dernière épidémie, sans trop se soucier de notre législation, qui n'a été rappelée que pour la forme. Tout le temps, une administration attentive et vigilante a fait appel au concours effectif des hommes de la science, et l'on conviendra que le résultat obtenu n'est pas de nature à le faire regretter.

La police sanitaire de la peste bovine est des plus simples, en théorie : surveiller les frontières par lesquelles elle peut être introduite ; puis, si elle a déjoué la surveillance, prévenir le développement des foyers de contagion par l'abatage immédiat des animaux atteints et de tous ceux qui ont pu être contaminés par eux.

Cela implique, en fait, la nécessité d'une loi autorisant le ministre de l'agriculture à exproprier sommairement, pour cause d'intéret public, les bêtes suspectes, moyennant une indemnité déterminée, qui devrait être, à notre avis, de la valeur entière des animaux. Ce qui importe avant tout, en pareil cas, c'est de rendre l'action prompte et facile, sans se préoccuper des subtilités que les légistes et les jurisconsultes, hommes peu pratiques, en

général, introduisent toujours dans les affaires législatives de ce monde; subtilités qui font presque toujours manquer le but.

La loi faite, il n'y aurait plus, pour en assurer au besoin l'exécution efficace et utile, qu'à organiser administrativement un service sanitaire vétérinaire, toujours prêt à agir dans la limite des attributions de chacun de ses membres, nettement déterminées.

Avec cela la France pourra, sans jamais fermer ses frontières à l'importation du bétail étranger, pas plus qu'à celle des nombreuses matières premières qu'il fournit à l'industrie, demeurer en complète sécurité quant à l'invasion de son territoire par la peste bovine. Elle se préservera sans mettre en aucune façon obstacle aux transactions commerciales, et la science aura conquis ses droits, tout à fait méconnus par les prohibitions absolues, bien plus commodes, à la vérité, pour les gouvernements qui les préfèrent, mais qui sacrifient gratuitement des intérêts certains à ceux qu'il s'agit de sauvegarder.

André Sanson.

II

LES PÊCHES MARITIMES.

Études sur les pêches maritimes dans la Méditerranée et l'Océan, par Sabin Berthelot, consul de France aux îles Canaries. Paris, 1868. — *L'industrie des eaux salées*, par J.-B.-A. Rimbaud, ancien officier du commissariat de la marine. Paris, 1869.

En abordant le sujet si étendu qu'indique le titre de notre article, nous désirons surtout appeler l'attention sur les deux très-bons livres de MM. Berthelot et Rimbaud, qui font connaître, dans le plus intéressant détail, l'industrie des pêches maritimes. Leurs auteurs, préparés par de consciencieuses études et par une commune inclination vers les rudes et curieux travaux des pêcheurs, ont su exposer avec clarté l'état actuel de cette industrie, montrer avec évidence les causes de sa prospérité et de sa décadence, et en décrire avec charme les pratiques si variées. Nous

avons pensé qu'un court résumé de ces deux ouvrages serait bien accueilli par les lecteurs de l'*Annuaire*, au moment où les questions relatives à l'alimentation publique et à l'extension du commerce maritime ont pris justement place au premier rang parmi celles dont la solution intéresse à la fois la paix et le bien-être des nations.

Par l'instruction qu'elle donne aux jeunes marins, la pêche côtière est une véritable école primaire de navigation, suivant la juste expression de M. Rimbaud; et les grandes pêches des mers du Nord, si fréquemment battues par la tempête, forment les solides matelots qui sont la force de notre marine. D'un autre côté, la pêche, considérée dans son utilité industrielle, est une des grandes ressources de l'alimentation publique, si une exploitation inintelligente et abusive ne vient affaiblir ou tarir même la fertilité des eaux, fertilité que peut, au contraire, accroître l'action de l'homme éclairé par l'observation et guidé par la science.

« L'homme ne sait pas assez ce que peut la nature ni ce qu'il peut sur elle, » disait Buffon. Mais, avec Bacon, il faut ajouter « qu'on ne peut vaincre la nature qu'en obéissant à ses lois. »

Nous commencerons par résumer l'ouvrage de M. Berthelot, plus descriptif, quoique riche en documents utiles et en judicieux conseils. Nous examinerons ensuite celui de M. Rimbaud, qui, d'accord avec son ami sur les principes, a mis plus de précision dans l'indication des moyens qu'il croit propres à prévenir le dépeuplement de nos rivages.

I

Associations de pêcheurs. — Les Prud'hommies. — Postes de pêche. — Maintien du personnel naval. — Les arts de pêche. — Pêcheurs étrangers. — Dépeuplement de la mer par la pêche à la traîne. — Prohibition de cette pêche sur la côte d'Espagne. — Pêches dans l'Atlantique.

Le livre de M. Berthelot est une complète exploration des ports de pêche, embrassant les côtes méridionales d'Espagne sur l'Océan et la Méditerranée, et la partie des côtes de France qui s'étend des étangs de Martigues à Nice. Cette exploration comprend l'histoire et la constitution des prud'hommies de pêcheurs, un aperçu statistique de la pêche, la description des différents en-

gins mis en usage par les pêcheurs, mêlée à de pittoresques récits, et un sérieux examen des réformes et améliorations nécessaires pour arrêter la décadence de la pêche et le décroissement du personnel maritime qui y est employé. Appuyé, comme l'étude semblable faite par M. Rimbaud, sur l'observation directe et sur des faits tirés de documents officiels, cet examen, dont nous ne pouvons donner ici qu'un résumé rapide, mérite, selon nous, toute l'attention des administrations chargées de faire observer les règlements relatifs aux pêches maritimes ou de proposer les modifications qui peuvent rendre ces règlements plus favorables à l'exploitation et la conservation des fonds de pêche, et la mettre en rapport avec les progrès de la science et de l'industrie.

L'origine des prud'hommies remonte aux premiers établissements de pêche. Les Grecs avaient compris qu'un genre de vie exceptionnel demandait une juridiction particulière, et, chez eux, les *juges des nautoniers* se transportaient sur le port et terminaient sur-le-champ, sans formalité ni procédures, les différends survenus entre marins. Nos prud'hommes pêcheurs, *probi homines piscatorum*, dans leurs tribunaux de paix, représentent en quelque sorte les anciens juges. L'expédition la plus prompte des affaires, le jugement le plus équitable et le plus économique furent les bases de cette institution qui, par l'élection, donnait à de simples patrons de barques les fonctions de magistrats de la communauté, et rappelait la première forme de gouvernement des républiques maritimes qui embrassèrent le commerce du monde, et commencèrent leur fortune « un filet sur l'épaule. »

A Marseille, dont l'ancienne prud'hommie a été le modèle de l'institution dans tous nos ports de la Méditerranée, les élections se font à haute voix et à la majorité absolue des suffrages. Cette forme de l'élection nous ramène aux premiers temps des républiques grecque et romaine ; elle a été maintenue par les pêcheurs marseillais, la plupart illettrés, dit M. Berthelot, mais simples et honnêtes, et qui la jugent sans doute plus naturelle, moins dangereuse et plus conforme à leur franchise. L'exercice du prud'hommat, qui réunit à la fois le pouvoir administratif et le pouvoir judiciaire, ne dure qu'une année, après laquelle les prud'hommes doivent rendre compte de leur administration à l'assemblée des pêcheurs. Les jugements sans appel des patrons

prud'hommes sont acceptés sans réclamations. Les justiciables se soumettent avec respect à leurs décisions, assurés de l'équité qui les dicte.

Tous les règlements sur la pêche et les ordonnances ou édits qui s'y rapportent sont inscrits dans un registre des archives de la prud'hommie appelé le *livre rouge* ou livre de la loi. Ces règlements assurent l'égalité des chances entre les pêcheurs, en fixant les postes de pêche, c'est-à-dire les parages où les filets dormants ou traînants peuvent être tendus, et en établissant, dans le choix de ces postes, une succession qui prévient toute discussion entre les pêcheurs. Le nombre et la longueur des filets et engins que doivent porter les bateaux sont aussi fixés, afin que chaque pêcheur jouisse du même droit sur le champ de labeur commun.

Ces dispositions réglementaires n'ont pas été établies seulement dans l'intérêt des pêcheurs ; elles se concilient aussi avec celui de la marine de l'État. Ainsi, par exemple, la fixation du nombre de filets par bateau, d'après le nombre d'hommes d'équipage, nécessite l'emploi d'un plus grand nombre d'embarcations portant un personnel de pêche presque double, personnel qu'il importe tant de maintenir pour assurer le recrutement de notre marine de guerre. On multiplie, d'ailleurs, les postes partout où la disposition de la côte présente de bonnes chances aux différents arts de pêche. Ces détails sommaires donnent une idée des associations qui les pratiquent, et « dont l'ancienneté, dit M. Berthelot, l'esprit de prévision, l'organisation judiciaire, administrative et réglementaire, offrent une étude des plus intéressantes. »

Nous regrettons de ne pouvoir montrer ces associations de l'œuvre, en suivant M. Berthelot dans ses vivantes et pittoresques descriptions des différents arts de pêche, depuis les simples pêcheurs à la ligne jusqu'aux grandes pêcheries de thons établies sur les rivages de la Méditerranée, et dont l'origine remonte aux premiers établissements maritimes des Grecs et des Phéniciens. Mais l'espace nous manquerait pour reproduire même les plus courtes de ces descriptions, poétiquement résumées dans les lignes suivantes d'un ancien auteur[1] : « La pêche ! vaillante et robuste matrone, portant couronne de coquilles, de perles et de corail, au visage hâlé, aux mains rudes et fortes ; drapée dans

[1] Don Ant. Sanez Regnart, *Dictionnaire des arts de pêche*.— Madrid, 1791.

ses filets aux franges de liége, et qui se baigne de nuit au sein des flots, parmi les poissons et les algues. »

Nous ne nous arrêterons donc ici qu'aux faits et observations qui sont la partie la plus importante des études de M. Berthelot, dont le principal but est de montrer la décadence de la pêche, causée surtout par les exploitations abusives des pêcheurs.

M. Berthelot cite d'abord l'extrait d'un mémoire[1] de M. J.-B. Rimbaud, qui fait entrevoir, « dans un avenir peu éloigné, le complet tarissement de la source où les masses populaires puisaient jadis une nourriture saine et à bon marché. » C'est surtout par l'emploi des filets traînants ou d'autres engins répudiés par la législation des pêches, que les points les plus poissonneux des côtes de Provence ont vu décroître leur extrême fertilité. Cet appauvrissement s'aggrave de jour en jour. « La pêche, dans les eaux de Marseille, dit M. Rimbaud, n'est plus qu'une industrie qui se meurt ; elle n'offre plus qu'une faible réminiscence de sa prospérité passée, et, malheureusement, les efforts actuellement tentés, dans le but de la ranimer, ne peuvent produire que des résultats complétement négatifs. »

Les engins destructeurs qui tiennent en échec les forces reproductrices de la nature ne sont pas les seules causes de ce dépeuplement de nos mers, signalé, comme nous le verrons plus loin, sur les rivages de l'Océan comme sur ceux de la Méditerranée. La concurrence des marins étrangers qui, en vertu des traités internationaux, viennent disputer à nos pêcheurs le produit de leur pénible travail, ne contribue pas moins que la trop grande liberté des pêches à l'état précaire de l'industrie côtière.

Ces pêcheurs étrangers, protégés par leurs consuls, ne se soumettent guère à nos règlements, et, en les violant, en mettant à la mer un nombre de pièces de filets qui dépasse les prescriptions, ils accaparent souvent le poisson au détriment de nos pêcheurs. Dans les ports du littoral qu'ils n'exploitent pas, l'approvisionnement de nos marchés n'est pas moins assuré par un plus grand nombre de pêcheurs nationaux soumis à l'inscription maritime, c'est-à-dire à l'obligation du service dans les équipages de la flotte.

[1] *De la pêche côtière*. Mémoire couronné par le comité d'aquiculture de Marseille, au concours ouvert en 1864.

Déjà, en 1814, le ministre de la marine disait à ce sujet : « Les circonstances politiques qui déterminèrent le gouvernement à permettre aux pêcheurs étrangers de pratiquer la pêche chez nous ne sont plus les mêmes, et il serait bien plus convenable aujourd'hui de les éloigner pour exciter l'industrie de nos pêcheurs en leur accordant une protection plus efficace, afin de multiplier une classe de marins si précieuse au pays. » M. Berthelot croit, et nous partageons son opinion, qu'il serait préférable de ne permettre l'industrie de la pêche sur nos côtes qu'aux bateaux portant notre pavillon, en soumettant les pêcheurs étrangers aux mêmes charges que nos propres pêcheurs.

Le dépeuplement de la mer par la pêche destructive qui emploie deux grandes barques naviguant de conserve et traînant ensemble un immense filet, est l'objet d'un complet examen de M. Berthelot, qui cite les faits recueillis par lui-même durant ses explorations sur les côtes de Provence, du Languedoc et du Roussillon. Cette pêche, dite *aux bœufs*, sans doute parce que le filet traînant laboure le fond comme la charrue, s'est maintenue malgré les nombreuses réclamations des pêcheurs des autres arts, et en dépit de sévères défenses. Elle fut d'abord exercée clandestinement, et, en 1770, un édit royal ordonnait la destruction des barques et des filets. Mais, en 1790, on toléra l'emploi du filet traînant ou *ganguy* avec une seule barque ou deux barques accouplées, et, depuis lors, cette pêche se continue sans interruption. En observant que le poisson pris est amené au milieu de la vase et du gravier des fonds sur lesquels le filet a traîné avec une vitesse moyenne d'une lieue à l'heure, on comprend que ce filet ravage tout sur son passage, et, non-seulement les amas d'algues et de fucus qui servent de frayères à beaucoup d'espèces, mais encore les bancs de coquillages, qu'il laboure, et dont il ramène les débris. Aussi est-il constaté qu'on est forcé de rejeter à la mer près d'un tiers de la pêche, consistant en poisson, moules et menu fretin sans valeur. En général, le poisson restant, mort étouffé au milieu du remous continuel qui le broie avec la vase dont le filet est encombré, n'offre qu'une chair mollasse et demande d'être consommé de suite ; il ne pourrait supporter l'attente de la vente, et encore moins le transport.

Pour donner une idée de la dévastation produite par les filets traînants, M. Berthelot évalue le produit de cette pêche, dans la

partie du golfe de Lion comprise entre Marseille et la pointe orientale des Pyrénées. Plus de deux cent cinquante barques, montées par 12 à 1,500 hommes, labourent, pendant six ou huit mois de l'année, le fond de ce golfe, depuis cinq brasses de profondeur jusqu'à soixante et plus. Le produit de leur pêche, qu'on estime atteindre 880,000 francs, représente à peu près une égale quantité de kilogrammes de poisson, presque toujours de petite taille. En en comptant six au moins pour un kilogramme, on arrive au chiffre de 5,280,000 poissons. Si l'on porte simplement au quart, c'est-à-dire à 220,000 kilogrammes, ou 1,320,000 poissons, la pêche de rebut dont on se débarrasse, on aura une idée du dépeuplement rapide de nos mers causé par les filets traînants ; et encore faut-il observer que la pêche rejetée, considérée dans le précédent calcul comme poisson de même grandeur, se compose ordinairement de friture, et qu'il faut au moins une cinquantaine de ces petits poissons pour un kilog. Ce nouveau chiffre donnerait le total énorme de 11 millions de poissons détruits inutilement chaque année, auxquels il faut encore ajouter le frai existant sur le fond de pêche et détruit en masse par le filet dévastateur.

Malgré toutes les ordonnances et jugements rendus contre la pêche à la traîne, malgré les règlements qui fixaient un temps de l'année pour cette pêche, afin de conserver le frai, les lois prohibitives ont toujours été violées, les règlements éludés, et souvent par les prud'hommes-pêcheurs eux-mêmes, intéressés sans doute à une tolérance dont ils profitaient, mais qui devait produire la stérilité qu'ils signalent aujourd'hui.

« On connaît maintenant la pratique en usage, dit M. Berthelot en terminant son examen ; j'ai signalé ses inconvénients et les préjudices qu'elle entraîne. Les barques d'un fort tonnage, traînant à la remorque un engin chargé d'un poids énorme et draguant à la voile le fond de la mer, sous l'action d'une forte brise, voilà ce qu'il faut empêcher. La pêche au ganguy, qui se pratique avec une seule barque, de même que celle au chalut, n'est pas moins préjudiciable que la pêche aux bœufs avec deux barques accouplées.

« Pour que l'action d'un filet puisse se produire dans la mer sans inconvénient, il faut que ce filet soit *flottant* entre deux eaux, ou bien *dormant* sur le fond de pêche.

« Si la pêche se fait *à la dérive,* l'action du filet sur les eaux ne se produit que lentement en suivant l'impulsion du courant ou de la marée.

« Si le filet est *dormant,* c'est-à-dire reposant sur le sol sous-marin, son action sur le fond est tout à fait nulle.

« S'il est tendu au moyen d'amarres tirées de terre à bras d'hommes, sa résistance, en draguant le fond, sera peu sensible, à moins que la ralingue sur laquelle il traîne ne soit trop chargée de plomb. Son action, du reste, ne s'exerce, en pareil cas, que sur un espace de mer limité, et par cela même ne saurait être bien pernicieuse. »

On a fait valoir, pour expliquer la tolérance de la pêche aux filets traînants, les avantages de l'accroissement de notre personnel maritime. Mais il est impossible de ne pas adopter une opinion contraire devant les faits cités par M. Berthelot. Si on laisse la pêche à la traîne poursuivre ses envahissements, elle finira par dominer seule et par anéantir toutes celles des petits arts, qui, pour notre littoral de la Méditerranée, comptent un personnel cinq fois plus fort que celui employé sur les bateaux à ganguy, dont l'industrie ne peut ainsi s'exercer, en réalité, qu'au détriment de notre inscription maritime. La province maritime de Malaga, où, depuis 1828, cette industrie a été proscrite, compte à elle seule 3,415 marins employés à la pêche des petits arts, tandis que les trois autres provinces de Cadix, San Lucar et Huelva, où la pêche à la traîne a continué d'être pratiquée sur une grande échelle, ne comptent ensemble que 4,578 pêcheurs. Ces données, extraites de documents officiels, montrent avec évidence que la pêche des petits arts, qui approvisionnent les marchés de meilleur poisson, met à la disposition de l'État un personnel maritime beaucoup plus nombreux.

On a voulu aussi accréditer les avantages qu'offre la pêche aux bœufs comme école d'apprentissage pour la marine. Mais M. Berthelot fait justement observer que cette pêche ne se fait que de jour avec les brises fraîches que les marins regardent comme du beau temps, et que, pendant toute la durée de leurs opérations, les équipages des barques n'ont presque pas à s'occuper de la manœuvre. La plupart du temps, au contraire, les pêcheurs des autres arts opèrent de nuit, souvent à de grandes distances en mer, et quelquefois, pour relever les lignes, avec de très-fortes

brises qui, sur leurs frêles barques, demandent toute l'expérience du marin.

Nous ne suivrons pas M. Berthelot dans la partie de son livre où il prouve que la pêche à la traîne en mer, sur les côtes méridionales d'Espagne, n'a pas éte moins désastreuse que sur notre littoral ; mais nous reproduirons le règlement adopté par le gouvernement espagnol, conformément aux conclusions du rapport présenté en juillet 1865 par la commission permanente des pêches siégeant à Madrid [1] :

« 1° Ne permettre de continuer la pratique de la pêche aux bœufs, sur les côtes où elle est actuellement en usage, que sous la condition de ne pouvoir augmenter le nombre de bateaux actuellement existants dans les différents districts par la construction de nouvelles barques ou par l'emploi de celles destinées aux autres arts de pêche, ni par celui des bateaux-bœufs d'un autre district.

« 2° Ne permettre à aucune embarcation d'un district maritime de se livrer à la pêche aux bœufs dans les eaux d'un autre district sans autorisation préalable.

« 3° Prohiber le remplacement des barques et filets qui ne pourront plus servir ; empêcher le carénage de toute embarcation servant à la pêche aux bœufs et la réparation des filets arrivés aux deux tiers de leur service, après examen d'experts. »

Le règlement détermine, en outre, les limites de la pêche dans la zone où elle doit s'exercer, et le temps de l'année pendant lequel elle sera permise.

Ce règlement, on le voit, doit amener, par des restrictions successives, l'entière extinction de la pêche à la traîne, qui compromet si gravement l'avenir de l'industrie côtière En demandant la prohibition de cette pêche destructive, qui prépare la ruine de ceux qui la pratiquent avec tant d'imprévoyance, le rapport de la commission engageait les amateurs des bateaux-bœufs à transformer leurs barques en bateaux-viviers, afin de pouvoir se livrer à la pêche dans les parages voisins des côtes d'Espagne, et surtout sur la côte occidentale d'Afrique, du cap Spartel jusqu'à La Rache, où pullulent des espèces propres à la salaison.

[1] Estudies sobre la pesca con el arte denominado *Parejas del Bou*, y reglamento para su regimen, presentado por la comission permanente de pesca por su vocal, secretario Cesario Fernandez, aprobado por Real orden de 9 de diciembre de 1865. — Madrid, 1866.

Déjà, dans un ouvrage[1] publié en 1849 sous les auspices du ministre de la marine et du commerce, M. Berthelot signalait aux pêcheurs les mêmes parages poissonneux placés dans des conditions bien plus favorables que les mers du Nord, et qui pourraient devenir le siége d'une pêche aussi abondante et aussi lucrative que celle qui se fait sur le grand banc de Terre-Neuve. Mais, pour ne pas dépasser les limites qui nous sont tracées, nous renvoyons au prochain *Annuaire* l'examen de cet ouvrage instructif, qui aborde l'important sujet des grandes pêches maritimes. Nous remettons aussi à un nouvel article les judicieuses observations de M. Berthelot sur les madragues et les pêches de thons, ainsi que sa très-intéressante et curieuse étude des arts de pêche aux Martigues.

II

Les filets traînants. — Insuffisance des règlements protecteurs. — Création de cantonnements ou frayères naturelles. — Plan descriptif. — Décadence de la pêche. — L'enquête anglaise. — Influence des guerres. — Interdiction de la traîne à la voile. — L'inscription maritime. — Réservoirs à poisson. — Les Bordigues. — Culture des eaux.

Dès le début de son excellent livre, M. Rimbaud entre au cœur de la question, en faisant observer que le département de la marine, dans la pensée que des prohibitions trop rigoureuses feraient bientôt dépérir l'exercice de la pêche, use envers cette industrie de ménagements dont l'excès même doit inévitablement amener sa ruine dans un avenir plus ou moins prochain.

Comme son ami, M. Berthelot, M. Rimbaud s'élève d'abord contre les traditions séculaires qui ont amené la dévastation des côtes, et surtout contre l'emploi des filets traînants, si bien nommés par les pêcheurs italiens *brûle-mers* (brucciamare). En rendant hommage à l'honnêteté et à l'intelligence des prud'hommes, M. Rimbaud croit, et nous partageons entièrement son avis, qu'il y a inconvénient à les avoir comme juges et parties, lorsqu'il s'agit de prononcer la suspension de modes de pêche qu'ils prati-

[1] *De la pêche sur la côte occidentale d'Afrique et des établissements les plus utiles aux progrès de cette industrie*, par Sabin Berthelot, secrétaire général de la Société de géographie.

quent ou ne pratiquent pas, et principalement de la pêche à la traîne.

Toutefois, dans l'impossibilité d'imposer aux pêcheurs des réserves qu'ils n'accepteraient pas, les ménagements valent mieux que des mesures sévères qu'on ne pourrait appliquer; mais les règlements actuellement en vigueur renferment des dispositions dont l'application générale, devant l'imprévoyance des pêcheurs, sauvegarderait la reproduction des espèces, la reproduction du frai et du fretin.

Nous regrettons de ne pouvoir suivre M. Rimbaud dans son examen consciencieux de toutes les circonstances qui peuvent nuire à l'industrie des pêches ou la favoriser. Les remarques sur les instruments de pêche et leur action sur les mœurs des diverses espèces marines, sur les frayères, montrent toute l'expérience d'un observateur qui a vu par lui même, et dont les patientes études ont formé la ferme conviction. C'est dans cette expérience éclairée que M. Rimbaud a trouvé, nous le croyons, une solution pratique à cette proposition qui résume toute la question des pêches : « L'activité du pêcheur ne sera point suspendue, ni même gênée, et, néanmoins, la mer ne se lassera pas de lui livrer libéralement ses produits. »

Si l'on considère que les espèces sédentaires, particulières au climat d'une contrée ou à la nature du fond de la mer, se développent et demeurent dans les eaux où elles sont nées, on comprendra combien il importe de favoriser la reproduction de ces espèces, en ménagent les fonds qui reçoivent leurs pontes, et qui recèlent, après l'éclosion, d'immenses troupeaux d'alevins. Malheureusement les populations riveraines, repoussant toute contrainte et s'ingéniant à éluder les règlements, emploient de préférence les pratiques proscrites, et d'autant plus que la dévastation du fond rend le poisson plus rare et la pêche plus difficile.

Il ne suffit donc point d'interdictions presque toujours vaines pour assurer la conservation du poisson ; et nous partageons la conviction de M. Rimbaud, qui croit que l'unique moyen de ramener l'abondance dans nos eaux, est d'y établir des réserves rendues inaccessibles aux pêcheurs, et affectées à la reproduction du poisson.

Sans doute le choix intelligent des points favorables, leur délimitation et la surveillance à y établir, présenteraient des diffi-

cultés ; mais en examinant les moyens d'action dont l'État peut disposer dans l'intérêt de tous, on voit que ces difficultés ne sont pas insurmontables, et on peut d'ailleurs espérer que les pêcheurs finiraient par comprendre tous les avantages de la mise en *jachère* de certaines parties du rivage, qui deviendraient bientôt comme des pépinières d'où la mer recevrait ce qui lui serait enlevé ailleurs en excès.

« Le propre du véritable progrès, dit M. Rimbaud, c'est d'améliorer et de se produire en harmonie avec les lois de conservation. » Or, le cantonnement, tel qu'il le conçoit, c'est « l'aliment et l'avenir de la pêche sauvegardés, la liberté d'action rendue aux pêcheurs, et leur industrie désormais affranchie d'une tutelle toujours bienveillante dans l'intention, mais qui, par la difficulté des choses, a été de fait, dans tous les temps, plus remuante que préservative. »

Toutefois cette liberté d'action serait limitée en ce qui concerne la pêche à la traîne, rigoureusement interdite depuis le rivage jusqu'à la profondeur de 30 mètres sur les côtes pourvues de prairies sous-marines, c'est-à-dire dans les parages où s'accomplit le travail régénérateur de la nature, et qu'épuise une imprévoyante exploitation.

Naturellement les côtes de l'Océan, où la région littorale a une vaste largeur, et qui tirent leur fécondité d'un immense champ de production, ont moins souffert que les côtes de la Méditerranée de cette exploitation outre mesure ; mais les plaintes des pêcheurs prouvent assez que les récoltes, surtout aux approches des villes maritimes, y ont déjà considérablement diminué. On doit remarquer d'ailleurs que les pêches abusives sont un obstacle à la propagation du poisson voyageur, ainsi que celle du poisson sédentaire, avec cette différence qu'une prodigieuse production, qui a ses réservoirs dans des régions lointaines, donne à la mer, incessamment pourvue, l'apparence d'une source intarissable, dont la diminution ne peut être constatée qu'après de longues périodes.

En proposant de limiter le champ de la traîne à la voile, pour l'éloigner de la zone productive, M. Rimbaud demande aussi la prohibition de la vente du fretin. Il est en effet évident qu'il ne suffirait pas de créer des refuges, mais qu'il faudrait encore préserver d'une destruction prématurée les essaims de petits

poissons qui sortiraient de ces pépinières pour se répandre aux alentours.

On a objecté à M. Rimbaud qu'il faudrait une armée de surveillants pour tenir les pêcheurs à distance des espaces de mer réservés. Mais, avec lui, nous croyons que la surveillance des postes sémaphoriques, établis depuis peu sur nos côtes, et l'armement d'une flotille semblable à celle des douanes, suffiraient à la protection des cantonnements. M. Rimbaud fixe d'ailleurs les bases de son plan par un exemple descriptif, embrassant les quartiers maritimes de Toulon et de la Seyne. Les réserves à établir sur les côtes de cette circonscription, dont l'étendue est de 95 milles, comprendraient 9 milles environ. Cette réserve d'un dixième suffirait-elle au repeuplement des neuf dixièmes livrés à une libre exploitation? Une expérience de trois ou quatre ans au plus, qui aurait un succès complet ou partiel, résoudrait définitivement la question.

Comme M. Birthelot, et s'appuyant avec lui sur des faits irrécusables, M. Rimbaud cite les rivages de la Méditerranée où la disparition du poisson est évidente. Dans l'Océan, et principalement sur les côtes de la Manche, les pêcheurs n'atteignent les récoltes de la mer qu'en s'éloignant de plus en plus des rivages, preuve certaine que le poisson est devenu plus rare dans la région littorale. Les espèces nomades ont aussi diminué dans les mêmes parages. Ainsi le hareng, qui abondait il y a cinquante ans, jusque vers Cherbourg, dépasse rarement aujourd'hui Dieppe et Fécamp. Dans les eaux de Marseille et de Toulon, le merlan, que ses migrations périodiques ramenaient annuellement, ne paraît presque plus. En résumé, partout où l'on demande à la mer plus qu'elle ne peut donner, la pêche est dans un état de souffrance qui appelle un prompt remède.

En Angleterre, une commission d'enquête nommée pour examiner s'il y a effectivement perte de poissons par l'emploi du chalut ou de tout autre engin traînant dans la mer du large, a conclu, après de laborieuses recherches, « qu'aucune preuve sérieuse ne vient confirmer l'opinion souvent exprimée relativement aux effets destructeurs de ces engins. » Mais dans le même rapport la commission dit « Nous n'allons pas jusqu'à prétendre que, sous l'empire de circonstances spéciales et dans de certaines localités, l'approvisionnement de poissons ne puisse être com-

promis par les méthodes de pêche mal habiles et dévastatrices. Si des preuves suffisantes de pareils faits étaient fournies, il est évident que le gouvernement ne devrait plus hésiter à prendre les mesures qu'il jugerait utiles à l'intérêt général, après s'être assuré toutefois que le mal ne doit pas s'arrêter de lui-même. »

Cette dernière opinion est fondée sur l'espérance que les pêcheurs, étant les premiers à ressentir les inconvénients de leurs pratiques abusives, leurs opérations se ralentiront sur les fonds trop exploités, qui seront dès lors vite repeuplés, grâce à l'immense pouvoir de reproduction du poisson. Mais M. Rimbaud remarque très-bien à ce sujet que, si le nombre de bateaux doit évidemment diminuer sur les fonds où le poisson devient plus rare, les méthodes, au contraire, se raffinent de plus en plus, jusqu'à l'épuisement des fonds, « dont l'infertilité se perpétue par le glanage succédant aux récoltes désormais anéanties. »

Malgré la situation exceptionnellement favorable de la pêche anglaise, qui tire ses produits d'une vaste étendue de rivages, dont la fertilité est entretenue par des courants migrateurs qui ne dévient point, nous croyons avec M. Rimbaud, que la statistique spéciale dont on s'occupe aujourd'hui, établira avec certitude une diminution de la fertilité des côtes britanniques, causée par les excès de la pêche. Dans son rapport, d'ailleurs, la commission admettant la possibilité d'une destruction du fretin, dans une proportion notable, par l'emploi d'engins perfectionnés, émet l'avis « que les meilleures mesures à employer pour y remédier, seraient d'imposer une restriction à la dimension du poisson qu'il serait permis de débarquer, et de soumettre à une pénalité le détenteur de poisson au-dessous de la taille déterminée. » La proposition de cette interdiction indique assez les doutes de la commission, au milieu des documents souvent contradictoires accumulés par l'enquête, sur l'inépuisable fécondité des rivages de l'Angleterre.

A l'appui de son opinion sur l'efficacité des réserves, M. Rimbaud rappelle la période d'abondance qui succéda aux vingt-cinq années de guerre durant lesquelles, sous la république et le premier empire, les nations maritimes de l'Europe avaient négligé ou délaissé la pêche, afin d'appliquer toutes leurs ressources au développement des flottes et des armées. Cette abondance, fruit du répit dont la bienfaisante nature avait profité pour raviver la

fertilité des eaux, ne fut pas de longue durée. En moins de vingt ans, une aveugle exploitation, ne s'astreignant à aucun ménagement, dépeuplait de nouveau les eaux littorales, et élevait le prix du poisson, devenu si commun que nulle autre denrée ne coûtait moins, au-dessus de celui de la viande de boucherie.

« Dans le passé, dit justement M. Rimbaud, les collisions entre les peuples étaient fréquentes ; à des intervalles peu éloignées les unes des autres, la guerre, interrompant ou diminuant l'action épuisante des faucheurs de la mer, réparait les fonds poissonneux que la paix avait ravagés, et y ramenait la fécondité. C'est de l'histoire. On peut s'en convaincre en consultant la date des restrictions apportées à l'exercice de la pêche côtière, pendant le dix-septième et le dix-huitième siècle. » Mais aujourd'hui la tendance universelle des États civilisés montre assez la nécessité de régler la production en vue d'une paix durable, et, conséquemment de ménager les sources qui tarissent lorsqu'on y puise sans modération et sans prévoyance.

On a attribué l'extrême cherté du poisson et sa disette actuelle à l'accroissement et à la rapidité des communications territoriales. Mais cette disette était déjà très-sensible dès 1830, lorsque nous n'avions pas encore un seul tronçon de voie ferrée. Vers cette époque, d'énergiques réclamations dénonçaient, au nom des habitants de Marseille, les excès de la pêche à la traîne, auxquels elles imputaient la décroissance graduelle de la fertilité des fonds. Les faits cités par M. Rimbaud prouvent d'ailleurs que la rapidité des communications a déplacé la consommation mais ne l'a pas augmentée.

En revenant sur la pêche à la traîne, pratique barbare qui occasionne réellement le préjudice dont souffrent nos populations, M. Rimbaud observe que les clameurs publiques pour réclamer la prohibition de ces filets, ont abouti la plupart du temps à des demandes d'informations auprès des prud'hommes pêcheurs, qui, généralement, contestent ou démentent le mal signalé. M. Rimbaud, nous l'avons déjà dit, reconnaissant tout ce qu'il y a de sagesse dans l'institution prud'hommale, « tout à la fois association de bienfaisance, tribunal patriarcal de police intérieure et justice de paix gratuite, » pense avec raison que les intérêts professionnels qui s'agitent dans cette sorte de prétoire, doivent mettre l'administration en garde contre les rensei-

gnements qui en émanent, et l'engager à s'éclairer elle-même par une sérieuse statistique des pêches, qui ne laisserait aucun doute sur la décadence de l'industrie côtière.

Devant cette certitude, l'interdiction de la traîne à la voile devient une impérieuse nécessité; mais, pour éviter l'affaiblissement de l'inscription maritime par l'expropriation et la perte d'une partie considérable de notre matériel de pêche, il conviendrait, comme l'Espagne nous en a donné l'exemple, de modérer et de régler d'abord ce travail dévastateur, en visant à sa prohibition successive.

Sur les rivages les plus stérilisés, les délais de cette prohibition ne permettraient pas un repeuplement assez rapide, malgré l'établissement des réserves, et il y aurait lieu, suivant M. Rimbaud, d'y ramener la vie par des alternances annuelles, réglées de manière à épargner le tiers ou le quart des éléments reproducteurs.

Ajoutons ici qu'au nombre des causes qui occasionnent un grave dommage à la pêche maritime, M. Rimbaud compte les écluses et réservoirs à poissons, dont le mécanisme lui paraît détourner de la multiplication toute une population captive. Ces piscines, suivant lui, ne nuisent pas moins à l'intérêt général que les pratiques abusives de la pêche active, et leur établissement sur nos côtes reconstitue des priviléges abolis par l'ordonnance qui prononçait la suppression des pêcheries exclusives.

Dans une lettre à M. Berthelot, suivie d'un examen approfondi des pratiques d'élevage appliquées à certains poissons, M. Rimbaud fait ressortir les dégâts causés par les viviers, qui anéantissent une quantité considérable de petits poissons, et parquent les troupeaux de ceux qui survivent dans une infertile captivité. En renouvelant incessamment leur approvisionnement de matière première, ces viviers prennent à la mer beaucoup plus qu'ils ne livrent à la consommation, et comme ils ne retiennent que des espèces de poissons sédentaires, ils nuisent à la pêche permanente tout autant que les filets traînants, l'action de leurs vannes étant appropriée, comme celle de ces filets, à la capture du plus petit poisson.

M. Berthelot, dans une réponse détaillée, exprime la même opinion que son ami, et affirme avec lui « que ce sera toujours en pure perte qu'on tentera la multiplication des poissons de mer

au moyen du fretin déposé dans des viviers, quelle que soit la capacité de ces réservoirs. » Il déplore en même temps la perte des *bordigues*[1] dans les étangs salés de Martigues et de Berre, où l'on a laissé détruire une partie de ces riches pêcheries converties aujourd'hui en salines. Observons toutefois qu'établies dans la mer même, ces propriétés privées sont l'objet de réclamations incessantes de la part des pêcheurs, et que, par suite, de fréquentes démarches en faveur de leur rachat ont été tentées par les autorité locales et départementales.

On le voit, dans cette partie de leurs études, MM. Berthelot et Rimbaud touchent à la culture des plages maritimes, et nous ne pourrions les suivre sur ce terrain sans trop étendre les limites de notre article, d'autant plus que nous ne partageons pas entièrement leur manière de voir au sujet de la nouvelle industrie et des procédés de reproduction artificielle. Sans nous faire illusion sur l'avenir de cette industrie, nous croyons que les échecs qu'elle a subis proviennent en grande partie d'une inexpérience qu'explique suffisamment la nouveauté des procédés mis en usage ; et que, d'un autre côté, les résultats déjà acquis montrent qu'appliquée avec discernement, et soumise à des règlements protecteurs de la pêche côtière, elle pourra, profitant des données de l'observation et des conseils de la science, augmenter, comme en Amérique, dans une notable proportion, la production des eaux douces et salées.

Mais, comme nous l'avons déjà dit, nous réservons l'examen de cette intéressante question, pour l'étude de laquelle nous aurons d'ailleurs à consulter de nouveaux documents, en revenant aux livres si utiles que nous venons de résumer, heureux de pouvoir contribuer à faire connaître de consciencieuses études, poursuivies dans le plus sincère désir du bien public.

E. MARGOLLÉ.

[1] Parcs sous-marins formés par des palissades de roseaux, dont la disposition est telle, que le poisson qui y pénètre ne peut en sortir sans devenir la proie des pêcheurs.

NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

LES RACES BOVINES AU CONCOURS AGRICOLE DE PARIS EN 1856

Un album et un fascicule avec six cartes, par E. Baudement.
Imprimerie impériale, 1862.

Quelques personnes se souviennent sans doute encore du remarquable concours agricole qui eut lieu à Paris en 1856. Toutes les nations avaient été invitées à y envoyer leurs produits et leurs animaux; un grand nombre répondirent à cet appel, et, pendant quelques jours, le Palais de l'Industrie renferma la plus riche collection d'animaux reproducteurs qu'on eût encore vue; l'espèce bovine, notamment, était merveilleusement représentée, et l'administration de l'agriculture conçut le désir de ne pas laisser échapper cette occasion unique d'étudier d'une façon complète les races européennes. M. E. Baudement, professeur au Conservatoire, fut chargé du soin de conserver le souvenir de cette belle exposition, Les animaux les plus remarquables furent photographiés; des artistes éminents prirent en outre des croquis de ceux qui devaient être reproduits, et bientôt on eut entre les mains tous les éléments d'un magnifique album.

Rien ne fut épargné : MM. Troyon, Barye, mademoiselle Rosa Bonheur, son frère M. Is. Bonheur, et d'autres peintres distingués donnèrent bientôt des dessins remarquables qui furent lithographiés et qui forment un très-bel album de 87 estampes reproduisant fidèlement les types principaux de l'espèce bovine, depuis le buffle et le taureau hongrois aux cornes gigantesques jusqu'au Durham, à l'Angus et au Devon représentant les types les plus parfaits de l'animal de boucherie.

M. Baudement voulut bientôt aller au delà de ce qu'avait demandé la direction de l'agriculture, au lieu d'appuyer chaque dessin d'une courte notice sur la race à laquelle appartenait l'animal reproduit, il voulut écrire un grand ouvrage sur les races bovines, afin d'appuyer, sur de nombreux exemples, les idées qu'il voulait faire triompher dans l'organisation de l'élevage; il se mit résolûment à l'œuvre, établit des relations suivies avec les

éleveurs français et étrangers, et commença par dresser des cartes indiquant la distribution des principales races bovines en France et à l'étranger, indiquant encore les réseaux d'approvisionnements des grandes villes de France; il écrivit ensuite l'introduction de son ouvrage dans lequel il résuma les principes de son enseignement du Conservatoire, puis continua d'accumuler des notes et des renseignements pour écrire l'ouvrage lui-même.

Avait-il abordé un sujet impossible à traiter? Se découragea-t-il devant la masse de documents qu'il fallait mettre en ordre? ou plutôt attendait-il que la maladie lui laissât un instant de répit pour commencer à rédiger? On l'ignore ; et quand notre maître regretté fut atteint, au commencement de 1863, d'une paralysie du cerveau, et qu'il mourut à la fin de cette même année 1863, et que je fus chargé d'examiner ses notes, afin de voir si on y trouverait de quoi terminer les travaux commencés ; je reconnus bientôt qu'il y fallait renoncer : beaucoup de chiffres épars, de nombreuses notes sans ordre furent trouvés dans ses cartons, mais il n'y avait rien d'achevé qui pût servir de modèle et montrer le sens dans lequel il fallait continuer.

L'administration se résolut alors à publier ce qui était fait, et, cette année, elle a distribué aux amis de l'agriculture ce que Baudement avait laissé de l'œuvre grandiose qu'il avait entreprise et pour laquelle l'administration de l'agriculture, toujours désireuse d'encourager les travailleurs, lui avait fourni toute l'aide désirable.

L'introduction écrite par Baudement restera l'expression la plus nette des doctrines qu'il a soutenues pendant les dix années qu'a duré son enseignement, et, bien que nous ayons déjà entretenu le lecteur de ses idées (*Annuaire* de 1865 : *les bœufs de Durham*), nous nous efforcerons, dans les pages suivantes, d'indiquer clairement qu'elles étaient ses opinions, en lui empruntant le plus souvent qu'il sera possible ses expressions mêmes; le lecteur ne pourra qu'y gagner.

« Dans les races bovines, dit-il, trois grandes aptitudes peuvent être développées et constituer trois sortes de machines vivantes répondant à trois natures de services : l'aptitude à l'engraissement, l'aptitude à la production du lait, et l'aptitude au travail. Quel est l'ensemble de conditions qui caractérise la ma

chine animale la plus complète pour chacun de ces emplois? Quel est le type de la perfection pour chacun de ces trois buts divers ? Voilà la première question à résoudre, le premier jalon à poser avant de s'engager dans la description de chaque race en particulier. Cette description ne sera ensuite autre chose que la confrontation de chaque race avec chacun des trois types préalablement dessinés, pour mesurer, jusqu'à quel point sont réalisées les qualités de l'une et de l'autre jusqu'à quel degré la race est laitière, travailleuse ou bonne à l'engraissement. »

Baudement trace ensuite avec sûreté les types correspondant aux trois genres de service que l'industrie agricole attend de l'espèce bovine; pour lui, et il faisait souvent usage de cette expression heureuse, l'animal est une machine qui consomme et produit. Citons, au reste, une partie du passage relatif aux animaux de boucherie :

« La perfection d'une machine résultant de son adaptation la plus complète au but pour lequel on veut la faire fonctionner, le type le plus parfait des animaux de boucherie sera celui qui satisfera le mieux à toutes les conditions de la production de la viande. Cette production se propose d'obtenir la plus grande quantité de viande de la meilleure qualité le plus économiquement possible.

« Le *rendement* que le consommateur attend d'une machine bien organisée pour la production de la viande, celui que le producteur doit, par conséquent, chercher, c'est donc la somme la plus considérable de viande grasse comestible, de la partie que débite le boucher à son étal et qui forme ce qu'on appelle les *quatre quartiers*, ou le *poids net*. Plus s'élèvera le poids des quatre quartiers, proportionnellement au poids total de l'animal, plus le rendement sera avantageux ; il aura pour expression le rapport du poids net au poids vif. »

Après avoir ainsi précisé le genre de service que l'élevage attend du bœuf de boucherie, Baudement décrit avec un rare talent la forme qu'il doit présenter ; puis il passe à l'étude du bœuf de travail, il examine le service qu'on attend de lui et dessine encore avec précision le type qu'il doit réaliser pour s'approcher de la perfection.

« Il est facile de comprendre, dit-il alors, que les exigences d'une telle conformation (celle du bœuf de travail) sont tout à

fait autres que celles dont nous avons justifié la nécessité chez les meilleurs animaux de boucherie. La forme parallélipipédique ou même cylindrique du corps, la disproportion entre le volume exagéré du tronc et la dimension réduite des membres, l'atténuation du système osseux, la finesse propre du système cutané des parties qui en dépendent, la délicatesse des attaches, notamment celle de l'encolure avec la tête, la nature des tissus, la proportion des parties, tous les caractères essentiels qui forment le type des machines les mieux organisées pour la boucherie sont précisément ceux qui ne doivent pas se rencontrer dans les machines les plus propres à donner du travail. »

Pour Baudement, il y a donc incompatibilité entre ces deux services. « Cette incompatibilité n'est pas seulement physiologique, elle est en même temps économique. Par suite de leur activité propre, de la puissance de leurs facultés d'assimilation, les animaux de boucherie les mieux organisés ont une formation, un accroissement, un engraissement rapides ; ils atteignent promptement le terme de leur développement, mais ils ne peuvent produire de travail. L'éleveur ne peut donc en attendre d'autre profit que le gain vif, et il pousse incessamment ces animaux vers leur maturité la plus hâtive ; il les maintient toujours au meilleur régime pour arriver à les abattre ni trop tôt ni trop tard, mais juste au moment où ils auront atteint leur maximum de rendement. La *précocité*, qui est le caractère physiologique fondamental des machines à viande les plus parfaites, est donc aussi la condition de leur valeur économique propre pour le producteur. Il serait superflu de dire qu'elle répond aussi aux besoins pressés de la consommation. »

Le troisième type de l'espèce bovine est la vache laitière ; nous ne nous y arrêterons pas, nous ne voulons qu'indiquer la méthode suivie par Baudement dans l'exposé de sa doctrine et non entrer dans tous les détails que comporte l'exposition de la thèse qu'il soutient. Ce type étant tracé, Baudement établit de la façon suivante ce qu'il entend par la perfection en zootechnie.

« Le travail, l'engraissement précoce, la production du lait sont donc des fonctions distinctes qui deviennent dominantes pour peu qu'elles soient actives. Chacune d'elles exige, de la machine animale, un genre propre d'activité, lui impose certaines habitudes physiologiques, certaines conditions organiques qui

appellent nécessairement des aptitudes et une conformation particulières.

« Les trois types dont j'ai tracé les caractères si tranchés sont donc aussi différents que je les ai représentés, en m'appuyant sur la physiologie et sur les faits acquis à l'histoire des races bovines. De cette opposition d'aptitude, de conformation, de rendement résulte évidemment l'impossibilité d'obtenir à la fois, d'une même machine animale, d'une même race bovine, la plus grande somme de produits et de bénéfices pour la laiterie, pour l'engraissement, pour le travail. Aussi j'ai été conduit déjà à définir de la manière suivante la *perfection* en zootechnie.

« La perfection est l'ensemble de tous les caractères qui répondent le mieux à une destination de l'animal, c'est la réunion des qualités qui, à l'exclusion de toutes les autres, rendent l'animal propre à une seule espèce de service, c'est la *spécialisation* des races.

« La spécialisation des races, c'est-à-dire l'appropriation de chaque race à un genre unique d'emploi, tel est, à mes yeux, le terme qu'il faut montrer aux efforts de la production comme pouvant seul réaliser, pour chaque aptitude, le maximum de perfection, c'est-à-dire constituer la machine à son maximum de rendement. »

Or nos races sont loin de cette perfection ; on aurait de la peine à trouver en France une race s'approchant même de la perfection; de là la nécessité de les améliorer. Comment y parvenir?

Par la sélection ou le croisement. Voyons avec Baudement en quoi consistent ces deux opérations :

« Le mot *sélection*, auquel on donne quelquefois pour synonymes d'autres dénominations d'un sens analogue, est employé généralement pour désigner le système connu aussi sous le nom d'*amélioration des races en elles-mêmes*. Cette dernière appellation présente une idée plus exacte de l'opération à laquelle elle est appliquée ; elle indique de suite que, pour son travail d'amélioration, l'éleveur n'entend emprunter aucun secours étranger et qu'il veut se renfermer exclusivement dans son milieu et dans sa race.

« Les avantages de cette méthode se résument dans la sûreté de l'effort, ses inconvénients dans la lenteur du mouvement... »

C'est contre cette lenteur du progrès que les éleveurs s'impa-

tientent quelquefois; espérant précipiter l'amélioration, ils accouplent des reproducteurs qui offrent entre eux des contrastes brusques, des oppositions violentes et n'obtiennent que des produits décousus, sans harmonie; ils reculent pour avoir voulu marcher trop vite.

« C'est aussi pour échapper à cette lenteur répondant si mal, il faut le reconnaître, aux besoins changeants et pressés comme ils le sont aujourd'hui, qu'on s'est jeté aveuglément dans les mélanges de races, dans ce qu'on appelle d'une manière générale le *croisement.* »

Pour Baudement, le mot croisement a un sens bien défini, « c'est, à proprement parler, l'absorption d'une race par une autre, par l'accouplement d'un mâle pur emprunté à une race avec une femelle prise dans une autre race pour la première génération, puis par l'emploi continu et exclusif du même mâle pur avec les femelles obtenues à chaque génération ultérieure; les mâles issus de ces alliances successives sont exclus de la reproduction. »

Le croisement est donc tout à fait différent du métissage dans lequel on emploie comme reproduction des mâles croisés; tandis qu'on peut citer des races améliorées en elles-mêmes, que la race des chevaux de course anglais a été formée par croisement suivi, c'est-à-dire par l'emploi répété de l'étalon barbe oriental sur les juments anglaises, puis sur les juments croisées; on ne peut citer aucune race formée par métissage. »

Après avoir examiné les différents procédés d'amélioration, Baudement conclut en faveur de la sélection. « Seule la sélection est capable d'améliorer, de perfectionner, de transformer les races. Le croisement anéantit les races par absorption, s'il est suivi, et, s'il est diffus, s'il devient du métissage par la substitution d'une population incertaine, sur laquelle on est constamment obligé de revenir avec des reproducteurs du dehors. Dans ce cas, toute base d'amélioration fait défaut, et il ne reste plus qu'à se tirer d'affaire par des expédients qui pallient le mal sans l'atténuer.

« Est-ce à dire que toutes les races doivent être améliorées en elles-mêmes, que le croisement doit être rejeté d'une manière absolue. En aucune façon. L'emploi de tel ou tel procédé est déterminé par l'état de la race et les conditions agricoles de la localité. Là où la race est parfaite, il ne peut évidemment être ques-

tion que de la conserver avec le plus grand soin; là où elle est médiocre, mais où elle possède des germes d'amélioration qui se pourront développer concurremment avec la culture, la sélection a naturellement sa place; là où elle est nulle ou décidément mauvaise et où les progrès agricoles s'accomplissent avec une telle rapidité qu'il est impossible à la race de les suivre, le croisement suivi est appelé à substituer une race supérieure à la race locale; la condition du succès est alors de persévérer dans l'emploi des mâles de la race absorbante jusqu'à ce que le but soit décidément atteint.

« A côté du grand parti pris applicable à l'ensemble d'une race, une place peut encore être très-utilement occupée par une opération qui consisterait à obtenir avec les femelles de cette race et les mâles d'une race plus parfaite, des animaux de croisement destinés à être utilisés comme produits, mais ne devant jamais être employés comme *reproducteurs*. Les lois seraient ainsi respectées, les besoins les plus divers et les plus pressés seraient satisfaits sans que les ressources de l'avenir fussent engagées ou compromises.

« Ainsi pourraient trouver à vivre, juxtaposées des industries qui s'aideraient et se compléteraient l'une l'autre. Ainsi la pratique pourrait fonctionner sur le terrain suivant les principes qui découlent des faits. »

Quand on relit, comme nous venons de le faire, ces pages dans lesquelles Baudement a résumé toutes ses études, on ne peut manquer de regretter amèrement que la mort soit venue interrompre un travail qui eût fait époque en zootechnie, mais on ne saurait trop louer l'administration d'avoir mis au jour le remarquable fragment dont nous avons essayé de donner une idée au lecteur.

P.-P. Dehérain.

AGRONOMIE, CHIMIE AGRICOLE ET PHYSIOLOGIE

Par M. Boussingault, tome quatrième, Gauthier-Villars, 1868.

M. Boussingault réunit peu à peu en volumes tous les mémoires que ses élèves et lui publient au moment où ils viennent d'être

terminés dans les *Annales de chimie* ou dans les comptes rendus. On doit lui en savoir gré, car ces recueils ne sont lus que des savants de profession, tandis que plusieurs des sujets abordés par M. Boussingault dans ce volume ont un grand intérêt pour les agriculteurs. C'est ainsi qu'ils trouveront grand avantage à lire les mémoires sur la culture du tabac; les expériences sur le barattage, ainsi que les travaux de M. Joseph Boussingault sur la fermentation des fruits à noyaux.

Nous avons déjà entretenu le lecteur des recherches de M. Boussingault sur les fonctions des feuilles, sur la végétation dans l'obscurité, et nous n'y reviendrons pas ; il nous suffit de rappeler que ces mémoires se trouvent dans le volume dont nous rendons compte ici ; il renferme encore une notice importante sur la composition du pulque, boisson fermentée préparée à l'aide de la séve du maguey, de l'agave, la véritable vigne américaine.

Le pulque présente habituellement une odeur repoussante de viande faisandée, qui est due à l'altération des matières albuminoïdes que la séve renferme pendant la fermentation ; M. Boussingault pense que cette fermentation putride qui donne au pulque une saveur que des palais peu délicats peuvent seuls supporter, pourrait être évitée, et que si la fermentation avait lieu à une température très-basse, elle serait purement alcolique, la décomposition des albuminoïdes ne se produirait pas et le liquide ne présenterait plus qu'une odeur agréable assez analogue à celle du cidre.

P.-P. D.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

NOTICE BIOGRAPHIQUE

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

PHYSIQUE

NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

CHIMIE

NOTICE NÉCROLOGIQUE

MÉTÉOROLOGIE

BIBLIOGRAPHIE

BOTANIQUE ET PHYSIQUE VÉGÉTALE

PHYSIOLOGIE

BIBLIOGRAPHIE

ANTHROPOLOGIE

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

CHIMIE APPLIQUÉE

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

MÉDECINE

EXPLOITATION DES ANIMAUX

NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

AUTEURS

CITÉS DANS CET OUVRAGE

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

